

ÖSSZEFÜGGÉSEK A TALAJ TERMÉKENYSÉGE ÉS TÁPANYAG-ELLÁTOTTSÁGA KÖZÖTT

KÁDÁR IMRE

**Kiadvány közleményeiben társszerzők voltak:
Csathó Péter, Gajdó Anna Mária, Gondola István, Loch Jakab,
Márton László, Pecznik János, Radimszky László, Ragályi Péter,
Sarkadi János**

**MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet
Budapest, 2015**

ISBN: 978-615-5387-04-03

**Lektorálta: Dr. Csathó Péter
MTA Doktora**

Előszó

A kiadvány első része az 1978-ban írott kandidátusi értekezésem anyaga változatlan formában, mely az „Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyag ellátottsága között” címet viseli. Az értekezéshez csatoltam Dr. Pecznik János opponensi véleményét és az arra adott válaszomat. A másik opponensem Dr. Loch Jakab véleménye szintén csatolva, azonban az arra adott válaszom nem találtam. Valószínű elkallódott.

A kiadvány mások része az azóta eltelt időszak néhány eredményét taglalja. Itt kapott helyet a Sarkadi Jánossal összeállított „Műhelymunka” című anyag, mely az MTA TAKI Agrokémiai és Növénytaplálási Osztály 1974-2009 közötti évek kutatási irányait ecseteli. Csathó Péterrel összeállítottuk az általam 1972-ben beállított P-előregedési tartamkísérlet eredményeit 22 év után. Márton Lászlóval az OMTK mezőföldi tartamkísérletek tanulságait összegeztük 40 év után. Vizsgáltam a dohány ásványi táplálását és Gondola Istvánnal (Dohányipari Kutató Intézet, Debrecen) felmértük a hazai dohánytermő területeket talajtani/agrokémiai szempontból az 1990-1991 évek adatai alapján.

Áttekintettem az angliai Rothamsted tartamkísérleteinek néhány tanulságát. Külön szemleciikkben összefoglaltam azokat a szemléleteket, melyek a növénytaplálás, illetve tágabban az újkori mezőgazdaságot érintik. Vizsgáltam Liebig munkásságának hatását a magyar tudomány fejlődésére. Állást foglaltam az élelmiszerválság és az agrártudomány közötti kapcsolatokról.

Bekerült e kiadványba a „Gércei alginin hatása a savanyú homoktalaj termékenységére” című összefoglaló cikkünk is, mely nem jelent meg tudományos közleményként. A nyírlugosi tartamkísérletben három éven át folyt vizsgálatainkat összegzi.

Végül közreadom közérthető formában javaslataimat, mely a műtrágyázási szaktanácsadás tudományos módszerét mutatja. Bármely értelmes gazda okszerűen használhatja.

Az említett tanulmányok ebben a formában korábban megjelentek az Agrokémia és Talajtan, a Növénytermesztés, illetve a Magyar Tudomány hasábjain. De csak az érdeklődők szűkebb köréhez jutottak el. Abban bízom, hogy a jelen kiadvány hozzájárulhat a kutatás, oktatás, szaktanácsadás tágabb összefüggéseinek megértéséhez. Ez főként az utánam jövő nemzedék fejlődését segítheti. A kiadvány az interneten bárki számára hozzáférhető, az MTA ATK TAKI honlapjáról levehető.

Dr. Kádár Imre
Budapest, 2015. április

Tartalomjegyzék

ELŐSZÓ	2
KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉS (1978)	5
Bevezetés	5
Irodalmi áttekintés	7
1. A mezőgazdaság fejlődéstörténete és a talaj termékenysége	7
1.1. Különböző földművelési rendszerek tápanyag-gazdálkodásáról	7
1.2. Eltérő gazdálkodási módok elemforgalma és a műtrágyázás	11
1.3. A műtrágyázás megítélésének néhány aspektusa	14
2. A talaj tápanyag-ellátottsága és a műtrágyahatások összefüggése	16
2.1. A hazai agrokémiai iskola fejlődése	16
2.2. Tendenciák az újabb külföldi szakirodalomban	22
Tápelem-forgalmi vizsgálatok	30
1. Országos tápanyag-mérlegekben	30
1.1. Magyarország NPK elemforgalma a századforduló óta	30
1.2. A műtrágyaigényt befolyásoló tényezőkről	42
2. Szabadföldi kísérletekben	52
2.1. Mezőföldi Kísérleti Telep ismertetése	52
2.2. A P-utóhatás tartamkísérlet ismertetése, eredményei	55
<i>Szemterméseredmények</i>	57
<i>Talajvizsgálati eredmények</i>	58
<i>Növényvizsgálati eredmények</i>	67
<i>Melléktermék/főtermék arányának alakulása</i>	72
<i>A P- mérlegek alakulása az egyes kezelésekben</i>	84
<i>Biológiai termés elemzés</i>	85
2.3. A talajba vitt P-műtrágya értécsökkenése tartamkísérletben	94
2.4. A P-előregedés vizsgálata új modellkísérletben	100
2.5. Az eltérő NPK ellátottsági szintek hatásvizsgálata	105
<i>Az őszi búza termés eredményei és tápelem-forgalma</i>	108
<i>Műtrágyázás hatása egyéb tápelemek felvételére</i>	117
<i>A kukorica termés eredményei és tápanyag-forgalma</i>	121
<i>Műtrágyázás és a növényi betegségellenállóság</i>	130
<i>Műtrágyázás hatása az őszi búza minőségére</i>	134
<i>Műtrágyázás hatása a talaj némely fizikai jellemzőjére</i>	138
<i>Műtrágyázás hatása a talaj cellulóz bontó aktivitására</i>	140

2.6. A talaj tápanyag-ellátottságának és termékenységének megítélése növényanalízissel	142
2.7. A feltöltő PK műtrágyázás hatékonysága eltérő termőhelyeken	149
Összefoglalás, következtetések	160
Irodalom	166
Opponensi vélemény (Dr. Loch Jakab)	177
Opponensi vélemény (Dr. Pecznik János)	180
Válasz Dr. Pecznik János opponensi véleményére	183
SZEMELVÉNYEK AZ AGROKÉMIAI ÉS NÖVÉNYTÁPLÁLÁSI OSZTÁLY KUTATÁSAIBÓL	188
Műhelymunka 1974-2009	188
A P-előregedés vizsgálatának eredményei 22 év után	208
Az OMTK kísérletek eredményeinek összefoglalása Mezőföldön 40 év után	221
1. Búza kísérlet eredményei 1968-2004 között	221
2. Búza utáni kukorica kísérlet eredményei 1969-2005 között	232
3. Kukorica utáni kukorica kísérlet eredményei 1970-2006 között	242
4. Borsó kísérlet eredményei 1971-2007 között	253
A dohány ásványi táplálása	266
A hazai dohány-termőhelyek talajtani/agrokémiai vizsgálata	277
Az angliai Rothamsted tartamkísérleteinek tanulságairól	294
Különböző szemléletek a tápelem utánpótlás alapelveiről	304
Liebig és a magyar tudomány	317
Az élelmiszerválság és az agrártudomány	330
Gércei alginit hatása a savanyú homoktalaj termékenységére	338
A műtrágyázási szaktanácsadás ajánlott módszere	354
Az MTA ATK Talajtani Intézet kiadványai	388

KANDIDÁTUSI ÉRTEKEZÉS (1978)

Bevezetés

A sokat idézett tudományos-technikai forradalom mezőgazdaságunkat is érinti, mezőgazdasági termelésünk egyre inkább iparszerűvé válik. A nagyteljesítményű gépek és eszközök lehetővé teszik, hogy az egyes agrotechnikai műveleteket az optimális időben, mennyiségben és minőségben végezzük el. Az új fajták, növényvédelmi eljárások növekvő termékek elérését segítik elő. A termésszintek ugyanakkor a talaj tápanyag-ellátottságának is függvényei. Talajaink tápanyagállapotában és termékenységében nagyobb változások történtek az elmúlt 20-25 év során, mint az ezt megelőző hosszú évszázadok alatt. Ez a rohamos fejlődés elsősorban az intenzív műtrágyázással kapcsolatos és nem problémamentes. Talán nem volt még elegendő időnk ahhoz, hogy e változások mértékét, mennyiségi és minőségi oldalait kellően megvilágítsuk és szemléletünket az új követelményekhez igazítsuk.

Mezőgazdasági üzemeink egy részénél a tápanyag-gazdálkodás gyakorlata olyan mértékben módosult, amelyet nem minden esetben volt képes a hazai kutatás követni. Mindez egyfajta bizonytalanságot okoz, mintha vakon haladnánk előre, mert az esetleges negatív hatások elhárítására nem vagyunk kellően felkészülve. Az intenzív műtrágyázásnak a környezetre - növényre és talajra - gyakorolt sokoldalú hatásának figyelembevételét nemcsak a mezőgazdasági gyakorlat igényli, hanem nélkülözhetetlen a modern környezetvédelem szempontjából is. A trágyázás a talaj tápanyag-ellátottságának befolyásolására szolgáló eszköz, a tápanyag-gazdálkodás egyik eleme. Ahhoz, hogy az intenzív műtrágyázás helyét és szerepét kellően megítélhessük a modern iparszerű termelési rendszerek tápanyag-gazdálkodásában, bizonyos történeti áttekintés nélkülözhetetlen. A történeti megközelítés segít tájékozódni gyorsan változó világunkban és különösen fontosá válik akkor, ha szemléletváltozás igénye is felmerül. A mezőgazdaság fejlődéstörténetében különböző földművelési rendszerek váltották egymást, melyek alapjául meghatározott tápanyag-gazdálkodási mód szolgált. A történelem arra tanít, hogy egyetlen tápanyag-gazdálkodási módot sem tekinthetünk öröknek, azok viszonylagosak és a hozzájuk való ragaszkodás megváltozott gazdasági körülmények között, más fejlettségi szinten (más földművelési rendszer kereteiben) a fejlődés gátját jelentheti. Ahhoz tehát, hogy a részproblémákat helyesen közelítsük meg, először az egészet, a horizontot kell megkísérelni áttekinteni. Ez utóbbi törekvés indokolta, hogy disszertációm felépítésénél a történeti áttekintés és az országos jellegű részben prognosztikai felmérések után taglalom az egyedi konkrét kísérleteim adatait.

A talajtermékenység fogalma meglehetősen összetett és többsíkú, általában a talaj azon képességét értjük alatta, hogy bizonyos mértékben képes kielégíteni a növények földi tényezői iránti szükségletét, víz- és tápanyagigényét. A termékenység indexéül leggyakrabban maga a termés szolgál, ezért a termékenység és a termőképesség fogalmát szinonim értelemben használjuk. A talajtermékenység ugyanakkor, mint kategória magában foglalja a termés mennyiségi és minőségi paraméterein túl mindazon talajtulajdonságokat –fizikai, kémiai, biológiai stb. –melyek a termésszintek kialakításában szerepet játszanak. A talaj képviseli az élő és az élettelen világ egy részét, azok folyamatai összefonódva jelennek meg benne. Ebből adódóan a talajtermékenységgel kapcsolatos, a talajban és a növényben lejátszódó folyamatok megismeréséhez elengedhetetlen, hogy azokat komplexen és összefüggéseiben vizsgáljuk, ahogy a természetben is megnyilvánulnak. A tudományos igényű vizsgálatok fő célja tehát nem magának a

termésnek regisztrálása valamely tényező hatására, hanem azon összetett mechanizmusok megismerése, melyek a termést alakítják. Ilyen irányú követelményeknek csak a csoportmunka képes megfelelni. Ebből az igényből és felismerésből fakad a komplex kollektív munkára, az együttműködésre való törekvés, melyet disszertációm későbbi fejezetei tükröznek. Még a csoportmunka sem tette lehetővé azonban, hogy a talajtermékenység minden lényeges kérdését érinthessem. Munkámban elsősorban a talaj foszforellátottsága és termékenysége közötti kapcsolatokat vizsgáltam kísérletesen. A választott téma szempontjából ugyanakkor egyes kérdéseket - mint pl. a talaj P-ellátottságának hatása az őszi búza termésképzésére, a kukorica és az őszi búza tápanyagforgalmának alakulása műtrágyázás hatására - talán a kelleténél részletesebben taglaltam. Az adatfeldolgozást valahol le kellett zárni, így az 1977., illetve az 1978. évi vizsgálatok bemutatásától már eltekintettem. Az elektronikus gépi feldolgozáshoz szükséges alapadatokat és a feldolgozás részeredményeit a nagy terjedelem miatt egyáltalán nem közölhettem.

Az irodalom feldolgozásának több szempontja lehetséges. Egyik funkciója kétségtelen az, hogy sok tekintetben kimeríthetetlen adatforrással szolgálhat. Éppen saját kísérleteim térbeni és időbeni korlátai miatt voltam kénytelen szakirodalmi források olyan csoportosítására, amely a kísérleteim egyoldalúságát némileg enyhíti. A talaj tápanyagellátottsága és a műtrágyahatások, illetve termésösszefüggéseit érintő, főképpen szabadföldi kísérletek eredményeit bemutató önálló irodalmi fejezet az említett célt szolgálja. A hivatkozott irodalom egyedi kritikai értékelésétől itt legtöbbször eltekintettem, illetve csak a fejezet végén foglalom össze a tanulságokat. Néhány szelektáló forrásmunka alapján - szintén külön irodalmi fejezetben - megkísértem egy áttekintést adni a hazai agrokémiai gondolat alakulásáról. Az irodalmi feldolgozás célja itt tehát nem az adatközlés, hanem inkább a szintézis volt, egyfajta szemlélet nyomon követése. Irodalmi utalások és hivatkozások ezen túlmenően szinte minden fejezetben előfordulnak, amennyiben anyagom bemutatásánál ezt indokoltnak tartottam. Igyekeztem elkerülni, hogy az egyszerű és kényelmes adatközlés szintjén maradjak. Esetenként talán túl erős is az állásfoglalásra való törekvés. Nem tértem ki a mezőgazdasági gyakorlat és a hazai agrokémiai kutatás egyik-másik igen vitatott kérdése elől sem (mint pl. a feltöltő foszfor- és káliumműtrágyázás problémái; országos szintű műtrágyaigény becslésének módszere; növényanalízis alkalmazhatósága a növény tápláltsági állapotának megítélésére és műtrágya-igényének megállapítására; mikroelem kutatás némely időszerű kérdései az intenzív műtrágyázással összefüggésben; stb.), bár a kísérleti anyagom természetszerűleg behatárolt és így az általánosítás és állásfoglalás bizonyosan még módosulhat a jövőben széleskörű kísérleti tapasztalatok alapján.

Végül legyen szabad köszönetet mondanom név szerint is mindazoknak, akik szakmai érdeklődés által indítva részt vettek a kísérletekben és így lehetővé tették az intenzív műtrágyázás talajtermékenységre gyakorolt sokoldalú hatásának érzékeltetését, az ebben rejlő nagy lehetőségek és veszélyforrások bemutatását: BÁRTEAI TIBORNÉ, ELEK ÉVA, FÜLEKY GYÖRGY, GULYÁS FERENC, KRÁMER MIHÁLY, LÁSZTITY BORIVÓJ, SARKADI JÁNOS, SZEGI JÓZSEF, VARGA GYULA, ZILAHY PÉTER. Hálámat kell kifejeznem úgyszintén azoknak, akik a szükséges anyagi eszközök biztosításával, illetve értékes tanácsaikkal munkámat elősegítették. Külön is köszönet illeti a NAGYHÖRCSÖK-I KÍSÉRLETI TELEP DOLGOZÓIT és SIMON JÁNOS telepvezetőt áldozatkész és pontos munkájukért, mely a meglehetősen bonyolult szabadföldi kísérletek elvégzését lehetővé tette.

Irodalmi áttekintés

1. A mezőgazdaság fejlődéstörténete és a talaj termékenysége

1.1. Különböző földművelési rendszerek tápanyag-gazdálkodásáról

SALMON-HANSON (1970) a mezőgazdaság és a civilizáció fejlődését vizsgálva azt írja, hogy "Az ember mindazon eredményei közül, melyeket az utóbbi 150 évben elért, talán semmi más nem járult hozzá jobban jólétének növekedéséhez, mint a mezőgazdaság fejlesztése. Az emberek általában tisztában vannak az élelem és a ruházkodás jelentőségével és azzal is, hogy mi a szerepe a mezőgazdaságnak az ehhez szükséges alapanyagok előállításában. De kevésbé tudatos az, hogy az egész civilizáció alapja az a különbség, amennyivel a gazda saját szükségleténél többet termel. Még 150-200 évvel ezelőtt is a lakosságnak 90 %-a, néha még annál is több a mezőgazdaságban dolgozott. Férfiak, asszonyok és gyermekek naponta sok-sok órán át keményen dolgoztak csak azért, hogy saját létüket fenntartsák."

A termelőerők fejlődése azóta igen meggyorsult és alapvető változások következtek be a mezőgazdasági termelésben. A gépesítés lehetővé tette, hogy csökkenjen a mezőgazdaságban foglalkoztatottak száma. Az új növényfajták és agrotechnikai eljárások bevezetése, nemkülönben a javuló tápanyag-utánpótlás megalapozta a termékek emelését. A mezőgazdaság állapota azonban ma is egy egész ország, gazdaság, illetve nemzet jólétét tükrözi és meghatározza, túlnő egy gazdasági ágon és végső soron civilizációk alapját, előfeltételét képezi. Különösen a gazdasági fejlődés korai szakaszában található országok esetében - állapítja meg PARKER (1965) FAO szakértő India tapasztalataira utalva - a társadalmi és gazdasági felemelkedés útja a mezőgazdaság gyorsütemű fejlesztésén keresztül vezet.

Ha áttekintjük a mezőgazdaság fejlődéstörténetét, napjainkig több földművelési rendszert különböztethetünk meg. A termelőerők adott színvonalához tartozó egy-egy gazdálkodási rendszernek része, illetve alapja egy-egy tápanyag-visszapótlási rendszer. Ugyanakkor elmondható, hogy az egyes társadalmi-gazdasági formációkban, illetve termelési módokban más és más földművelési rendszerek voltak uralkodók. Így pl. a parlagos földművelési rendszer alapvetően az ősközösségi társadalmakra jellemző, az ugaros két- és háromnyomásos gazdálkodás Európában helyenként 1-1,5 ezer évig állt fenn a feudalizmus fő gazdálkodási rendszereként, míg a vetésváltást közmertően a kapitalizmus igényei váltották ki. A rabszolgatartó társadalmak gazdálkodási rendszerében bizonyos vonatkozásban a belterjességre való törekvés nyilvánul meg (pl. ókori Róma). Az "ázsiai termelési mód" országaiban - mint pl. Kína esetén évezredekig - az öntözéses gazdálkodás szerepe meghatározó. MARX szerint a központi államhatalom, illetve keleti despotizmus sajátos intézményének alapvető gazdálkodási funkciója az öntözőrendszerek létrehozása és fenntartása volt. Ez utóbbi feladat ugyanis az egész társadalom összefogását követelte, illetve csak állami szinten lehetett megoldani.

LÁNG (1960) az istállótrágya-gazdálkodás szerepét vizsgálva áttekintést ad az egyes gazdálkodási rendszerekről. Kezdetben - írja - a talajtermékenységükben leromlott területek helyett mindig új, főleg gyepetakaró alatt regenerálódott talajokat vontak be a természetbe. Amíg a parlagoltatás ideje a 25-30 esztendő meghaladta, addig a talajtermékenység helyreállításának ez a módszere hatékony volt. Ha ugyanis a parlag

növénytársulásainak a fejlődése áthalad a KOSZTICSEV által meghatározott stádiumok közül a gyomos, tarackos és a lazán bokrosodó füves stádiumon - a talaj szerkezete helyreáll, termékenysége megnövekszik. A sűrűn bokrosodó füves stádiumon is túljutott parlag talajának termékenysége pedig a szűzföldekéhez válik hasonlónak. KOSZTICSEV és VILJAMSZ kimutatták, hogy nem a talaj pihentetése, hanem a parlagon megtelepedő növényzet állítja helyre a termékenységet.

KOSZTICSEV azonban VILJAMSZ-szal ellentétben nem állította, hogy a talajszerkezet romlása a terméscsökkenés fő oka a szűzföld feltörésekor. Szerinte döntő szerepet nem is a föld kimerülése, tápanyagokban történő elszegényedése játszotta, hanem az a tény, hogy általában 5-6 évig monokultúrában tavaszi kalászosokat vetettek és a szántó annyira elgyomosodott, hogy kifizetődőbb volt új területeket feltörni. A rövid parlagnál, 1-2 éves ugarnál a gyomok fennmaradnak. KOSZTICSEV következtetéseit a közelmúlt tapasztalatai Szibéria és Kazahsztán szűzföldjein igazolták (VOROBEVA és BUROV 1964).

Idővel azonban a szántóterület nőtt, a parlagoltatás ideje pedig egyre kisebb lett. Csökkent a két parlagoltatás közötti természetesi idő is, fokozatosan kialakult az ugaros földművelési rendszer, amely a régi kultúrájú vidékeken át uralkodó volt. Az ugar legfejlettebb formája a művelt feketeugar volt. A termések növekedése akkor indult meg igazán, amikor az istállótrágya gyűjtésére, helyes kezelésére és felhasználására nagyobb gondot kezdtek fordítani THAER munkássága nyomán a századfordulón. A szántóföldek tápanyag-visszapótlását az istállótrágyán keresztül a réti széna jelentette, a szántó termékenysége a rét/szántó arányától és az istállótrágya helyes felhasználásától függött az ugaros földművelési rendszerben (LÁNG 1960, CSERHÁTI és KOSUTÁNY 1887).

A talajtermékenység helyreállítása ekkor már nem pusztán egy természeti folyamat eredménye, hisz az emberi tevékenység is megjelenik és részt vesz benne. A földművelés ugaros rendszerének kifejlettebb formájában - a háromnyomásos gazdálkodásban - az istállótrágyázás elterjedésével a szántó termékenységének fenntartásához lényegesen kisebb rétterület elegendő, mint a parlagos rendszerben. Emellett jelentős a rét közbeeső haszna az állati termékek előállítására nyomán.

A soron következő vetésváltó földművelési rendszerben az istállótrágya szerepe változatlanul nagy, bár módosul a szántót tápláló funkciója, hisz az állandó gyepek és a szántó aránya megváltozik. Az ugar helyébe a kapások lépnek, melyek átveszik a gyomirtó funkciót, a pillangós takarmányok pedig a rétet, illetve legelőt helyettesítik. Ez a helyettesítés azonban viszonylagos. A pillangósok közvetítésével több nitrogén jut a talajba részben közvetlenül a gyökérmaradványok útján, részben pedig a pillangós takarmányok etetése révén istállótrágyán keresztül is. A gazdálkodásnak ezt a viszonylagos N-telítettségét sokáig nem vették észre - mint ahogyan nem vesznek tudomást a levegőről sem, amelyet belélegeznek - míg BOUSSINGAULT nem hívta fel a figyelmet, állapítja meg PRJANISNYIKOV (1945).

A talajok javuló N-ellátottsága mellett felismerték a P hatását a termésre, amely egyre inkább minimumba került. LIEBIG a hamualkotó elemek jelentőségét (elsősorban PK) hangsúlyozta, lebecsülve a N trágyázás illetve a pillangósok szerepét azt gondolva, hogy N-forrásként a levegő N-je szolgál NH_4NO_3 alakjában. Az 1860-as években részben homok- és vízkultúrákban lefolytatott kísérletek eredményei alapján világossá vált, hogy LIEBIG (PK) és BOUSSINGAULT (N) gondolatát egyesíteni kell és ezzel az "NPK" jelszó a trágyázás, illetve a műtrágyázás alapjává válik.

PRJANISNYIKOV (1945) ezzel kapcsolatosan a földművelés új korszakáról beszél, melyet a termékek folyamatos emelkedése jellemez. A N szerepét elemezve a földművelésben és a termékek fokozásában kiemeli azonban, hogy az első nagy termésemelkedés Nyugat-Európa mezőgazdaságában még a pillangósok által biztosított N telítettségnek köszönhető. Tekintve hogy a korábbi ugaros földművelési rendszerben a N csak átszivároghatott a réti szénán és az istállótrágyán a szántóra, N minimum állt fenn. Réteket azonban a népesség növekedése arányában felszántották, így ez a forrás csökkent és a gabonatermékek a XVIII. században Európa nagy részén $0,7 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ körül stabilizálódtak. A XVIII. sz. végén Angliában - előtte Németalföldön - lóherét kezdenek termesztani és a váltógazdálkodással létrehozott viszonylagos N telítettség a termékeket $1,4-1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ra emelte, illetve megduplázta.

A $1,5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ körüli termésszint viszonylag hosszabb időn keresztül változatlan maradt és csak a műtrágyázás kezdete után figyelhető meg a termékek dinamikus emelkedése. Az említett okok miatt elsősorban a P iránt nőtt meg a kereslet és nem véletlen, hogy J.B. LAWES első műtrágyagyára Angliában szuperfoszfátot termelt. Alapanyagul kezdetben csontlisztet, majd guanót, a foszfáttelepek felfedezése után pedig nyersfoszfátokat használtak. Ehhez járult még az a körülmény is, hogy a N műtrágyák ára a mezőgazdasági termékek árához viszonyítva különösen magas volt. Így pl. COOKE (1963) adatai szerint míg 1963/64-ben 1 kg N műtrágya hatóanyagot $2,2 \text{ kg}$ búza árért vásárolhattak az angol gazdák, 1932-ben $3,4 \text{ kg}$; 1913-ban pedig $8,3 \text{ kg}$ búza árát kellett fizetniük. Hasonló volt a helyzet Magyarországon is (CSERHÁTI és KOSUTÁNY 1887, SARKADI 1975).

A mezőgazdaság teljesítőképességét alapvetően meghatározó növénytermesztés tehát a tápanyag-utánpótlás színvonalának függvénye. COOKE (1965) szerint a régebbi gazdálkodási rendszerek sikere attól függött, hogy mennyiben sikerült a növényi tápanyagokat az istállótrágyával a talajba juttatni, illetve pillangósokkal a N többletet biztosítani. A bérleteknél előírt vetésforgó, bizonyos fajta termékek gazdaságon kívüli eladásának hagyományos tilalma a növényi tápanyagok megőrzését célozta.

PRJANISNYIKOV (1934) a műtrágyázás kezdete óta Nyugat-Európában megfigyelhető dinamikus termésemelkedést mintegy 20 %-ban a jobb fajtáknak és vetőmagvaknak és 50 %-ban a műtrágyázásnak tulajdonítja. Másutt, elemezve a kemizáció szerepét a mezőgazdaságban a következőket írja: "Ha megszüntetjük a műtrágyázást a termékek csökkenni fognak, mint ahogy lecsökkentek Németországban a világháború első évétől kezdve, amikor a kémiai ipar műtrágyák helyett robbanóanyagot kezdett termelni és pl. a háború 4. évére a 75 évvel korábbi szintre estek vissza.

PARKER (1965) megállapítja, hogy az emberek és a növények éhezésének oka Földünk nagy részén a talajok alacsony tápanyag-tartalma, illetve a műtrágyázás hiánya. Valószínű - írja - hogy ha beszüntetnék a műtrágyázást az USA-ban, éhínség váltaná fel a jelenlegi bőséget, a lakosság élelmezési színvonala Latin-Amerika nyomára süllyedne. A háború alatt és utána is gyorsan nőttek a termékek az Egyesült Államokban és ez az emelkedés több mint 40 %-ban a területegységről nyert terméstöbbletekből származott, melyek alapvetően a műtrágyázás javára írandók.

LATKOVICSNÉ (1972) tanulmányában a műtrágyagyártás és műtrágya felhasználás tendenciáit vizsgálva konstatálja, hogy a világ műtrágya fogyasztásának közel 70 %-a Európára, Észak- és Közép-Amerikára esik. Általában az a törvényszerűség figyelhető meg, hogy a nagy termésátlagokat elérő országok területegységre vonatkoztatott műtrágya felhasználása is a legnagyobbak közé tartozik. PARKER (1965) korábban idézett

munkájában kiemeli, hogy a műtrágya egyre nagyobb szerepet játszik a nemzetközi segélyprogramokban. A szerző adatai szerint a fejlett országokban 1959/60-ban mintegy 25 kg NPK műtrágya hatóanyag jutott egy főre, ami megközelítően 250 kg szemerterméstöbbletet jelent, míg a fejlődő országokban 1,3 kg; ami 13 kg szemerterméstöbbletnek felel meg.

A különböző földművelési rendszerek tápanyag-gazdálkodásának vizsgálata nem csupán történeti érdekesség. Ismeretes, hogy Afrika számos vidékén a parlagos, vándorló földművelés ma is dívik. BAUMGARDNER (1959) említi, hogy az USA-ban mihelyt egy farm rentabilitása a talaj kimerülése miatt csökkent, az új gazdaságot más helyre telepítették át. Ez az USA mezőgazdaságára több mint 200 éven át jellemző volt és a mezőgazdasági lakosság az 1830-as években is tömegesen vándorolt a távol fekvő nyugati államokba, hogy új földet keressen. Az ősi módszert tehát az újkorban is alkalmazták, illetve a gazdák kerülték a költséges trágyázást, amíg arra rá nem kényszerültek.

A Szovjetunió egyes északi, északnyugati területein - ahol a podzolos, tápanyagokban szegény talajok vannak túlsúlyban - rendszeres trágyázás nélkül nem kapunk stabil terméseket. A tápanyaghiány gyakran parlagon, ugaron hagyott földeket von maga után napjainkban is. Egyes körzetekben a szántó alig néhány %-ot képvisel a mezőgazdaságilag hasznosított területből (TRUTNEV 1963). E talajokon az összes P_2O_5 tartalom gyakran a $2000 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ értéket is eléri, ugyanakkor a termés P nélkül igen kicsi. A szabadföldi és tenyészedény kísérletek eredményei szerint a P 2-3-szorosára képes a kultúrnövények termését emelni NK alaptrágya mellett. Különösen fontosnak tekintik már az első évben a talaj felvehető P szintjének emelését, mert a szűzföldek feltörésekor a felvehető P limitálja a termést. A talaj termékeny tétele általában P készlettrágyázást, meszeszt és esetenként istállótrágyázást igényel (KREJER 1963, KALMÜKOV 1963, ZSUPKINA 1963).

PRJANISNYIKOV (1945) szerint Nyugat-Európa földművelésének egész történelme arról tanúskodik, hogy a különböző korszakokban a termésszint döntően a N ellátottság függvénye volt. A talajok eredeti termékenységét tekintve gyakran a P limitálja a terméseket. A Szovjetunió északi, északnyugati területein lefolytatott újabb kísérletek adatairól már történet említés, melyek erre utalnak. E kísérleteket különféle (köztük nem pillangós) kultúrnövényekkel végezték és a P mutatkozott minimum tényezőnek. A Volga melletti területeken és a sztyeppvidékeken egy évszázadon át trágya nélkül fehérjékben gazdag acélos búza termett. A harkovi földeken 1830-ban a trágyázást még károsnak minősítették és ha trágyáztak, a trágya csak P tartalmával hatott. A pillangósok szerepe csekély volt, az orosz csernozjom pótolta azt a nitrogént, amit Nyugat-Európában a pillangósok szolgáltatnak. Hasonló volt a helyzet Magyarországon is. A pillangósok mint N források vetésterületük alapján nálunk nem módosíthaták alapvetően a N ellátottság színvonalát. Mégis CSERHÁTI (1887) az akkori szabadföldi kísérletek alapján a P-t tartja limitáló elemnek. Idézi WAGNER-t: "P nélkül nincs műtrágyázás, K nélkül igen, ritkán N nélkül is", melyet követendőnek tart számunkra is. Talajaink akkori N-ellátottsága tehát kielégítőbb volt, mint a P ellátottsága.

A P kiemelkedő jelentősége a talajok termékenységének alakításában az első pillanatra szinte érthetetlennek tűnik, hisz a legtöbb kultúrnövény tápanyagigényét (NPK-tartalmát) tekintve 2-3-szor több N-t vagy K_2O -t követel, mint P_2O_5 -t. Nitrogén esetében azonban nemcsak a lassú mineralizáció (talaj), hanem más biológiai szabályozó mechanizmusok is a tápanyagszint fenntartását segítik elő, mint pl. a szabadon élő nitrogénkötő mikroorganizmusok tevékenysége, melyek környezetük N-hiánya esetén N-

forrássá válnak (levegő-N). Emellett a csapadékkal talajba jutó N mennyisége is jelentős N-forrás kisebb termékek esetén.

A P esetén egyetlen forrás a kőzetek mállása során felszabaduló P mennyisége, amely rendkívül kicsi. Erdők, érintetlen rétek, gyepek talaját vizsgálva a könnyen oldható P-tartalom a talajban gyakran alig mérhető. Ehhez járul még, hogy a régi kultúrájú vidékeken évezredek gabonatermesztési rendszereinkben talajaink elsősorban P-ban szegényedtek (szemterméssel a P távozott el a talajból), míg a réti széna tápanyagai az istállótrágyán át a szántók K-ellátottságát javították. Jelentős P-vesztés lép fel emellett esetenként az erózió, bizonyos mértékben pedig a kimosódás útján is.

HUTCHINSON és BOWEN (in: Timárné 1975) számításai szerint a folyók mintegy évi 14 millió tonna P-t szállítanak az óceánokba. Ennek ellenére a hatalmas vízfelületeknek a sivatagokéval azonos szintű biomassza produkciója a foszfor hiánya miatt kicsi és az áramlatok keverő hatására a fenékről a fotikus zónába jutó P teszi lehetővé bizonyos sávok nagy produkcióját. A szárazföldi ökoszisztémák esetén nagyon gyakran szintén a P-hiány limitálja az elsődleges produkció nagyságát. A művelt területek műtrágyázása során nemcsak a természetes P-limitációt kell megszüntetni, hanem pótolni kell az egyéb veszteségeket is.

Az egyes makrotápanyagok viselkedése, mozgékonyága a talajban más és más, legkevésbé mozgékony a P, majd a K és végül a N követi. Ez azonban azt is jelenti, hogy ha abbahagyjuk a műtrágyázást, akkor a P lesz a legutolsó a terméslimitáló elemek között. Így pl. az Osztrák Trágyázási Szaktanácsadási Intézet az országban rendelkezésre álló kísérleti adatok alapján arra a következtetésre jut, hogy a N hazai terméskiesése esetén az első, a K importkiesése esetén a második és a P importkiesése esetén a harmadik évtől termésnövekedéssel kell számolni, melynek mértéke néhány éven belül a 25 %-ot is elérheti (JAHRESBERICHT 1973).

1.2. Eltérő gazdálkodási módok elemforgalma és a műtrágyázás

A termőföld kihasználása egyre intenzívebbé válik a mezőgazdaság fejlődése folyamán, amelyhez alapvetően a következő tényezők járulnak hozzá:

- a hektáronkénti termésátlagok emelkedése,
- a parlagon és ugaron hagyott területek arányának csökkenése illetve megszűnése és intenzív növényekkel való helyettesítése.

Így pl. a vetésforgóra való áttéréssel megszűnik az ugar, amely a szántó 33 illetve 50 (három, ill. kétnyomásos gazdálkodás) százalékát foglalta el. E terület bevetése kapásnövényekkel, gyökértermésűekkel a hozamokat ugrásszerűen növelhette, hisz ezek a növények 2-3-szor annyi szárazanyag produkcióra képesek, mint a kalászosok.

Ha az 1 ha művelt területről illetve szántóról nyert gabonahozamok alakulását vizsgáljuk, a fejlődés nagyon imponáló. A termékek emelkedése az exponenciális görbét követi. Próbáljuk meg ezt a fejlődést számszerűen is megbecsülni:

Parlagos gazdálkodás	0,1-0,2 t·ha ⁻¹
Ugaros gazdálkodás	0,4-0,6 t·ha ⁻¹
Vetésforgó a századfordulón	1,0-1,5 t·ha ⁻¹
Magyarország az 1970-es években	3,0-4,0 t·ha ⁻¹
Élenjáró üzemek az 1970-es években	5,0-6,0 t·ha ⁻¹
Élenjáró üzemek az ezredfordulóra	8,0-10,0 t·ha ⁻¹

A kalászosok elméletileg $60 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szemtermésre is képesek (SZOZINOV 1976), így várhatóan ez a fejlődés a távolabbi jövőt illetően is tovább tart majd.

Amint az előző fejezetben láttuk, az egyes gazdálkodási rendszerek teljesítőképességét alapvetően a tápanyag-visszapótlás színvonala határozza meg. És ez így van ma is. A fejlett iparszerű termelést végző (gyakran specializált monokultúras árutermeléssel egybekötött) mezőgazdaság alapjául a tápanyagellátás magas színvonala szolgál. Soha nem látott mértékben nőtt meg a tápanyagigény. Összehasonlításképpen az *1. táblázatban* bemutatjuk a tápanyag-vesztés részben általunk becsült mértékét eltérő gazdálkodási viszonyok között egy 4 éves ciklus ideje alatt.

1.táblázat. Négyévi növényi NPK veszteség eltérő gazdálkodási viszonyok között, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Gazdálkodási mód	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
Parlagos gazdálkodás	12	4	2	18
Előszállási Gazdaság (CSERHÁTI 1887)	20	8	5	33
Rothamstedi vetésforgó a XIX. sz-ban (COOKE 1964)	64	21	7	92
Magyaróvári Gazdaság (CSERHÁTI 1887)	61	24	16	101
"Állami Gazdaság" modellje 1970-75.években	337	108	160	605
Korszerű árutermelő forgó Angliában (COOKE 1964)	438	144	490	1072
"Állami Gazdaság" modellje 2000-ben	674	216	320	1210

A parlagos gazdálkodás esetén fellépő tápanyag-vesztések becslésénél abból indultunk ki, leegyszerűsítve, hogy a művelésbe vételt megelőző felégetés után 2 évig $0,5-1,0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ a kalászosok szemtermése, majd 8 éven át a terület parlagon marad. Így egy 10 szakaszos művelés esetén évente és ha-onként $0,1-0,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szemterméssel számolhatunk. A betakarítás sarlóval történik, csak a kalászosok, illetve a szem NPK tartalma távozik el a területről, míg a szalmát elégetik, így utóbbinak K-tartalma a táblán marad. A 1 t szem és a hozzá tartozó szalma tápanyag-tartalmát egységesen búzánál $30-10-20 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ kg, míg az Á.G. modellben szereplő kukoricaszem tápanyag-tartalmát $19-6-4 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ kg-nak vettük. A parlagos művelés mellett csak a szem NPK tartalmával kell számolnunk, így a fajlagos NPK veszteség 1 t szemtermés esetén szalma nélkül $30-10-5 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ kg lesz.

CSERHÁTI (1887) leegyszerűsített számítást végzett, amennyiben a gazdaságon belüli veszteségeket - melyek N és K esetén a 30-40 %-ot is elérhetik - figyelmen kívül hagyta. Igaz azonban, hogy ebben a modellben kisebb is a szerepük, hisz a réti szénával a szántókra K-felesleg kerül, a pillangósok pedig a N mérleg hiányát kiegyenlíthetik. CSERHÁTI-nál a P szerepel kritikus elemként, erre építi a mérleget is. A tápanyag-mérleg helyzetét az eladott növényi és állati termékekben foglalt NPK, valamint a réti szénával visszapotolt NPK különbsége mutatja.

A Magyaróvári Akadémia gazdaságában nincs rét, a takarmánynövényeket is a szántón termesztik, annak 53 %-án. Bár a gazdaságból eltávozó tápanyagok mennyisége többszöröse egy átlagos (pl. Előszállás) gazdaságnak, a tápanyag-mérlege pozitív, mert a vásárolt erőtakarmányok NPK tartalma fedezi az árunövények okozta hiányt. A belterjesség csak visszapotláson alapulhat, az eladott termékekben foglalt NPK helyett

vásároljunk hulladékokat, erőtakarmányokat (korpa, repcepogácsa, malátacsíra stb.). A lényeg nem az - írja CSERHÁTI - hogy mennyi tápanyagot viszünk ki a gazdaságon kívül, tehát milyen mértékben vagyunk árutermelők, hanem mennyit pótolunk.

Az Előszállási Gazdaság tápanyag-mérlege CSERHÁTI szerint N esetén mintegy 15 %, P esetén pedig 40-50 %-os hiánnyal zárul. A K mérleg ugyanakkor erősen pozitív, a túltrágyázás több mint 3-szoros. A mérleg elsősorban tehát P-ra negatív, a P egyensúlyának fenntartásához kb. kétszer akkora rétre lenne szükségünk. A szántó/rét aránya azonban egyre romlik, feltörjük a réteket. Ez utóbbiakat egyáltalán nem trágyázzuk. A széna sok káliumot von ki a talajból, amelyet a szántóföldön eltemetünk. A gazdákat nem érdekli a szántóra jutó K-fölösleg, hisz nem fizettek érte. Tekintve, hogy a N mérleget javíthatjuk pillangósokkal, terméseink a P-tól fognak függeni. Nemcsak a tápanyag-mérlegek, hanem a szabadföldi kísérletek szerint is a P van minimumban Magyarországon - állapítja meg CSERHÁTI.

Az 1. táblázat "Állami Gazdaság" általunk vett modelljeiben - modern árutermelő gazdaság - leegyszerűsített becslést végeztünk a tápanyagforgalomra. Így feltettük, hogy az üzem 3 táblából áll, melyeken kukoricát, búzát és takarmánynövényeket termesztenek. Az üzemben termelő istállótrágyát az állattenyésztő telep körül elhelyezkedő táblára szállítják, ahonnan a takarmánynövényeket is kapják. A távolabb fekvő két tábla nem kap istállótrágyát, csak műtrágyát. E két táblát árunövényekkel, búza-kukorica 2 évenkénti váltásával hasznosítják. A kukoricát kombájnolják, csak a szem távozik el a tábláról, míg a szarát alászántják. A búzatábláról a szem és a szalma is elkerül. A termésátlagok 1975-ben $5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szem/ha, míg 2000-ben megduplázódnak és $10 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szem/ha mennyiségeket tesznek ki mind búzából, mind kukoricából.

A fenti számítások szerint így a búzatábláról 4 év - egy ciklus - alatt 20 t szem és a hozzá tartozó melléktermék szalma tápanyagai, míg a kukoricatábláról a 20 t kukorica szem tápanyagai távoznak. Ez a mennyiség $600-200-400 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O} \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ búza esetén és $380-120-80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ a kukoricatábla esetén, azaz átlagosan $490-160-240 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N-P₂O₅-K₂O. Tekintve, hogy a közel fekvő takarmánytermesztési tábla tápanyagszükségletét az istállótrágyával fedezzük, a tápanyag-vesztés üzem szinten 1/3-ával csökken. A 4 év alatt fellépő ha-onkénti átlagos tápanyag-vesztés így 1970-75 években 337-108-160, azaz mindösszesen 605 kg, míg 2000-ben 1210 kg körül alakul. E megközelítő becslések is mutatják, hogy a mezőgazdasági termelés alapjául szolgáló növénytermesztésben a gazdálkodási rendszerektől, vetésforgóktól való elszakadás anyagi háttérét a tápanyag-utánpótlás lehetőségei is szabályozzák. Ma, amennyiben elvileg korlátlanul állnak rendelkezésünkre növényi tápanyagok, műtrágyák, nagyüzemeink "felrúghatják" és fel is rúgják a korábban változtathatatlanak tartott rendszereket és szemléleteket.

Az elmúlt másfél évszázad folyamán többé-kevésbé tisztázódtak ismereteink a növényi táplálkozás alapjairól. Az ásványi tápanyagokkal kapcsolatos felismerések lehetővé tették, hogy eljussunk a műtrágyázás gondolatáig, amit úgy is kifejezhetünk, hogy az ipari üzemekben, bányákban szinte korlátlan volumenű termés feltételeit állíthatjuk elő (SÁRKÁNY 1968). Számos országban már ma is, de még inkább a jövőben a mezőgazdaság élelmiszerkitermelő kapacitásának egyik fő meghatározója a felhasznált műtrágya lesz. A fejlődés elsősorban mennyiségi vonatkozású, de máris új minőségi problémákat vet fel, hisz a műtrágya egyre inkább nyomatékos költségtenyezővé válik.

1.3. A műtrágyázás megítélésének néhány aspektusa

Vizsgáljuk meg a műtrágyázás helyét és szerepét röviden a mezőgazdasági termelésben, valamint a műtrágyázás hatékonyságának egyes kérdéseit.

A mezőgazdasági termelésre a XX. században minden bizonnyal a gépesítés és a kemizáció volt a legnagyobb befolyással. Mindkét beavatkozás addig soha nem látott mértékben növelte a munka termelékenységét a mezőgazdaságban. Míg a mechanizáció azon országokban ahol drága a munkaerő, közvetlenül csökkenti a kalászosokra fordított kézi munkaerőt - a kemizálás pedig ugyanezt azzal csökkenti, hogy a hektáronkénti termést ugyanolyan munkaráfordítás mellett emeli (2. táblázat).

2. táblázat A gépesítés és a kemizálás hatása a kalászosok termésére (PRJANISNYIKOV 1945)

Ország megnevezése	Szemtermés t·ha ⁻¹	NPK h.a. kg·ha ⁻¹	Traktorok száma db/1000 ha	Népsűrűség fő/km ²
Hollandia	3,0	109	-	217
Belgium	2,8	89	1	257
Németország	2,2	67	-	138
USA	0,9	12	10	13

GYÓRFFY (1965) szintén megállapítja, hogy Nyugat-Európában a mezőgazdaság kemizálása megelőzte a talajművelés gépesítését és nagyarányú termésmenövekedést figyelhetünk meg a műtrágyázás következtében a földművelés fogatos korszakában is. Az USA-ban és a Szovjetunióban fordított volt a sorrend, előbb gépesítettek és csak később növelték a műtrágyák használatát. A gépi vonóerőre való áttérés 1953-ig lényegében befejeződött az USA-ban, a kukoricatermesztésben pedig áttértek a hibridek használatára. E két tényező ha-onként 0,4-0,5 t termésmenövekedést eredményezett. A következő időszakban megfigyelhető mintegy 1,4 t·ha⁻¹ termésemelkedés az intenzívebb műtrágyázásnak és a növényvédelemnek tulajdonítható (3. táblázat).

3. táblázat A gépesítés, az összes felhasznált NPK hatóanyag és a kukorica termésátlagainak alakulása az USA-ban 1920-1964. között, 4 év átlagában (GYÓRFFY, 1965)

Időszak, Évek	Termésátlag t·ha ⁻¹	Traktorok száma 1000 db	NPK h.a. kg·ha ⁻¹
1920-23	1,8	114	-
1930-33	1,5	989	8,4
1940-43	1,9	1743	14,1
1950-53	2,4	3981	34,5
1960-63	3,9	4677	65,2
1964	4,2	4600	82,0

Az újabb agrárgazdasági irodalom is mind nagyobb érdeklődéssel fordul a műtrágyázás problémái felé. Az egyik legalaposabb elemzést BÉRCZI (1968) végezte. A

fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban felismerték azt az összefüggést, hogy a mezőgazdaság más ágainak fejlődése a növénytermelés fejlettségének függvénye és a talaj termékenységének (tápanyag-ellátottságának) kérdése az egész ágazat fejlődése szempontjából alapvető - írja BÉRCZI. A természeti újratermelési folyamat lényege az asszimiláció, központi kérdése pedig a tápanyag-gazdálkodás. Ez utóbbi egyet jelent a növények által kivont tápanyagok szakadatlan pótlásával, a talajok természetes termékenységének (bővített) újratermelésével, hisz azok nem pótlódnak úgy, mint a csapadék az évenkénti esővel. Az említett sajátosságok meghatározzák a bővített újratermeléshez szükséges eszközráfordítások arányosságát a mezőgazdaságban.

A termelés anyagi alapját képező - a tápanyag-ellátottsággal közvetlenül kapcsolatos és a termésre közvetlenül ható - ráfordítások elsődlegességének kell érvényesülnie elméletileg. Az egyéb, a termelés feltételeit jelentő ráfordításokat az előbbiek függvényében és azokhoz igazodva célszerű növelni, hisz ebből az aspektusból tekintve a többi tényező az asszimiláció megvalósulását szolgálja és csak a tápanyag-ellátottság szintje által meghatározott mértékig lehet hatékony (BÉRCZI 1968). Valóban a műtrágyázás közvetlen célja és egyetlen funkciója a termések növelése, míg egyéb műveletek illetve beavatkozások esetén ez csak közvetetten áll fenn. Így pl. a gépesítés, gyomirtószerek alkalmazásával kézi munkaerőt helyettesítünk, növényvédőszer a termés megőrzését, betegségek és kártevők leküzdését szolgálják, talajművelés célja legtöbbször a talaj megfelelő fizikai tulajdonságainak kialakítása, lazítás stb. Sőt még a növénynemesítésnek sem egyedüli közvetlen célja, hisz gyakran a betegség-ellenállóság, állóképesség, gépi betakarításra való alkalmazás stb. kialakítását célozza a növénynél.

Természetesen ez a felosztás nem jelenthet szembeállítást vagy valamiféle rangsorolást - a terméseket mindig valamely minimumban levő tényező limitálja, amely nem feltétlenül tápanyag, hanem inkább módszertani segítség az egymással kölcsönhatásban álló sokféle terméshatékony tényező jobb megismerésére és elemzésére. A felhasznált műtrágyák mennyiségét tekintve a fejlődés öröndetes hazánkban. A nagyarányú mennyiségi fejlődéshez képest azonban a felhasználás szakszerűsége terén elmaradás mutatkozik. Eltekintve a raktározási, szállítási, kiszórási problémáktól, többek között a közel azonos viszonyok között gazdálkodó üzemek indokolatlanul eltérő műtrágyázási gyakorlata is bizonyítja, hogy még nem ismerjük eléggé az egyes kultúrák, táblák s így az egész ország gazdaságos műtrágyaszükségletét - állapítja meg SARKADI (1975).

A gazdaságos műtrágyázás kérdéseit érintve PECZNIK (1969) utal arra, hogy a műtrágya-felhasználás és a termés között egyenes korrelációt nem kereshetünk, hiszen a termést számos tényező befolyásolja. Egy tényező növelésével párhuzamosan nem nő a termés, csak ha az minimumban van. A relatív minimumtörvény szigorúan csak akkor igaz, ha egy termelési tényező nagyon messze esik az optimumtól. Ebben az esetben a termés arányosan nőhet a hiányzó, limitáló tápanyag pótlásával. Minél jobban közeledünk az optimumhoz, annál kisebb lesz az illető tényező határfoka (csökkenő hozadék törvénye). Megkülönböztethetünk elméleti vagy potenciális hatékonyságot - itt feltételezzük, hogy az optimális arányban adott tápanyag teljes egészében beépülve a növénybe a termést a beépüléssel arányosan növeli - és kísérleti vagy tapasztalati hatékonyságot.

BÉRCZI (1972) a műtrágyázás hatékonyságát igen bonyolult, heterogén kategóriának tekinti, amelyet objektív természeti tényezők mellett technikai-gazdasági tényezők együttes hatása szabályoz. Három fő típusát írja le:

- Elméleti vagy potenciális, a növény tápanyag-tartalma alapján számított hatékonyság azt a maximumot adja, amit sohasem érhetünk el, hisz a tápanyagok bizonyos transzformációs veszteségeivel minden esetben számolni kell. A termelőerők fejlődése során azonban a mezőgazdaság e felé halad. Az elméleti hatékonyság rávilágít arra, hogy a műtrágya milyen fontos potenciális eszköz a termés hozamok emelésében.
- Kísérleti hatékonyság a kísérletek természeti és szubjektív feltételei között mért érvényesülési %-okat mutatja, melyeknek reális gyakorlati példamutató, illetve útmutató jellege van.
- Tényleges hatékonyság a gazdaság vagy ország szintjén mutatja a felhasznált műtrágyák hozamnövelő hatását, amely az adott ország műtrágyázási színvonalának legfontosabb mérőszáma, és jelzi a mezőgazdaság termelőerőinek fejlettségét is.

A tényleges hatékonyság elemzésével, a gyakorlatban tapasztalható műtrágyahatásokkal többen foglalkoztak (BÉRCZI 1972, MÉSZÁROS 1972, MERGENTHALER 1973. stb.). A hatékonyság fogalmát a továbbiakban az 1 kg tápanyagra jutó szemterméstöbbséggel azonosítjuk és természetesen a kísérletekben megfigyelt hatékonyságra vonatkoztatjuk.

2. A talaj tápanyag-ellátottsága és a műtrágyahatások összefüggése

2.1. A hazai agrokémiai iskola fejlődése

Az eddigiekben általános, történeti és országos szinten foglalkoztunk a talajtermékenység és a tápanyag-ellátottság (trágyázás) összefüggéseivel, érintve a műtrágyázás becslésének, illetve a műtrágyázás hatékonyságának néhány aspektusát is. A továbbiakban szűkebben vizsgáljuk szabadföldi trágyázási kísérletekben a termést befolyásoló talajtényezők köréből a talaj tápelem-ellátottsága és a műtrágyahatások, illetve termés közötti kapcsolatokat. Tulajdonképpen a minimumtörvényből értelem szerűen következik, hogy az említett összefüggés negatív. Minél magasabb a talaj tápelem-ellátottsága, felvehető tápanyag-tartalma, annál kevésbé valószínű a trágyázás eredményessége és hatékonysága. Az évente e témában megjelenő, több százra tehető közlemények száma a minimumtörvény általános igazságát bizonyítja. Van-e létjogosultsága az elmondottak után ezen összefüggések kutatásának? Igen, mert a kutatási cél konkrét és számszerű talaj- és növényvizsgálati paraméterek megállapítására törekszik, melyek alapján a műtrágya-hatások előrejelezhetők az adott termesztési viszonyok között. Nincs lehetőségünk ugyanis, hogy minden helyen és minden esetben szabadföldi kísérletben mérjük meg az egyes tápelemek terméshozam növelő hatását és így következtessünk a talaj ellátottságára.

A tápelem-ellátottság egyik oldalról fiziológiai kategória, amennyiben a növényre vonatkoztatjuk és azt értjük alatta, hogy a növénynek a fejlődéséhez szükséges tápanyagokat környezetéből módjában áll elsajátítania. Ez a környezet szántóföldi viszonyok között a talaj, ezért a tápelem-ellátottság fogalmát általában a talajra vonatkoztatjuk. A trágyázás fogalma szűkebb, nem azonos a talaj tápanyag-ellátottságával,

csak annak befolyásolására szolgáló eszköz (hiánya esetén csökken, fenntartó trágyázással nem változik, illetve nagyobb adagú feltöltő trágyázással a legtöbb tápelem esetén növelhető a talaj tápelem-ellátottsága). A későbbi fejezetekben tárgyalt országos tápanyag-mérlegek egyenlegei egyúttal a talajok tápanyag-ellátottságának változását is mutatták, azok mérésére is szolgáltak.

A talaj tápelem-ellátottságának becslése általában kémiai módszerekkel történik, míg a növénykísérleteket főképpen a talaj- és növényvizsgálati adatok értelmezésére, "kalibrálás"-ára használják fel. Így van ez ma már minden fejlett, jelentős műtrágya-felhasználással rendelkező ország mezőgazdaságában. Történetileg vizsgálva ez hosszabb fejlődés eredménye volt. Tekintsük át ezt az utat a magyar agrokémiában néhány kimagasló képviselőjének munkásságát érintve, melyek a fejlődés láncszemeit képezik. A magyar agrokémia tudománytörténeti szempontból igen gazdag és feltáratlan, tükrözi az egyetemes agrokémiai elmélet fejlődését is.

Mint ismeretes, Magyarországon a nagybirtokosság volt történelmileg és politikailag a legbefolyásosabb uralkodó osztály, melynek elsőrendű érdeke volt a mezőgazdaság fejlesztése. Ebből a célból az állam európai szinten is élvonalban álló kutatási szervezetet hozott létre már a múlt században és azt meglehetősen bőkezűen tartotta fenn. SZABADVÁRY (1972) a kémia történetét elemezve Magyarországon kiemeli, hogy a porosz-utas fejlődés mellett ipari kutatás még alig van a múlt század második felében, ugyanakkor kiemelkedő állami kutatóintézeti hálózat működik, amelynek egyetlen ága volt a mezőgazdaság. A kutatás eredménye szinte kizárólag a nagybirtoknak jelentett hasznot, a nagybirtokosok a nemzetközi piacon való versenyképességhez szükséges tudományos kutatás költségeit az államra hárították át. Ez a körülmény elsősorban a mezőgazdasági kémia fejlődésére hatott üdvösen.

A hazai tudományos igényű agrokémiai kutatások ismertetését CSERHÁTI és KOSUTÁNY (1887) munkásságával kell kezdenünk, akik könyvükben összefoglalják a növénytáplálkozás terén elért elméleti és gyakorlati eredményeket, a hazai trágyázási kísérletek tapasztalatait a múlt század végén. CSERHÁTI szerint a talaj tápanyagai nyers vagy összes és kész vagy felvehető állapotúak lehetnek. Előbbi a talajgazdagságot, utóbbi a talajerőt jelenti. A talajerőtől függ a termés nagysága és állandósága, amelyet trágyázással és főként a talaj-humusz megfelelő mállási sebességének biztosításával - műveléssel, ugarolással - tartunk fenn. A talajok tápanyagállapotáról szabadföldi kísérletek útján tájékozódhatunk. A talajvizsgálatokról szkeptikusan nyilatkozik. A talajelemzés arra válaszolhat, írja, hogy egy adott tápanyag előfordul-e vagy sem. Mennyi a felvehető, illetve mennyi fog feltárulni, arra csak a növény adhat választ. HEINRICH módszerét (növény-, illetve gyökérelmézés adatainak felhasználását a talaj tápanyag-ellátottságának becslésére) mint a talajvizsgálat kudarcának bizonyítékát emeli ki, amely eső után köpönyeg, hisz azt tudjuk meg, hogyan kellett volna trágyázni.

CSERHÁTI szkepticismusa érthető. Az akkori talajelemzési módszerek zöme ugyanis viszonylag tömény savakat és lúgokat használt oldószerül, amelyekkel inkább a talaj "nyers" tápanyagkészletéről tájékozódhattunk, semmint a "talajerőről". Nem állt rendelkezésre az az adatbázis, amely lehetővé tette volna a talajvizsgálati eredmények és a termés vagy trágyahatások közötti összefüggések egzakt feltárását. A növényelemzés módszerének hatékony alkalmazásához nem tisztázódtak még kellőképpen a növényi tápanyagfelvétel mechanizmusai, melyek alapul szolgálhattak volna a megfelelő mintavételi módszerek és ellátottsági határértékek kialakításához stb.

Az említett tényezők hozzájárultak ahhoz, hogy a figyelem középpontjában a szabadföldi kísérletek álltak. A kísérletek célja a trágyahatás lemerése, tehát a többi termésbefolyásoló tényezőt azonos szinten kell tartani. Az egyéves kísérlet nem kísérlet - írja ugyanitt CSERHÁTI - mert az időjárás befolyásolhatja a trágyahatásokat. A szabadföldi kísérletek alatt nem a kisparcellás trágyázási kísérleteket érti, hanem minimum 0,5 kh területű üzemi parcellákat, ahol már "azonos feltételeket tudunk biztosítani" a talaj, vetőmag minősége, vetés sűrűsége stb. tekintetében. A tenyészedeny és kisparcellás kísérlet, véleménye szerint, az alapkutatót szolgálja, de a terméseredményeket hektárra átszámítani a gyakorlatnak szédelgés. Ez utóbbi megállapítását, ami a szabadföldi kisparcellás kísérleteket illeti, nem tekinthetjük teljesen helytállónak, hisz a kisparcellás kísérleti technika ma már egzakt tudományos alapon áll, módszertana kidolgozott. A kézi vetés stb. helyét gépi agrotechnika vette át, amely azonos körülményeket biztosít az egész kísérleten belül, a talaj mikroheterogenitását pedig mintavételi módszereink figyelembe veszik. Statisztikai módszereinkkel biztonsággal megítélhetjük a véletlen (hiba) nagyságát és a kezelések közötti különbségeket.

'SIGMOND (1901a, 1901, 1904, 1910, 1934) a CSERHÁTI iskola legjelentősebb továbbfejlesztője, agrokémiai munkásságának már központi kérdése a talajvizsgálat, a talaj felvehető P tartalmának meghatározása. Új vizsgálati módszert dolgoz ki és határértékeket is megállapít a talaj P ellátottságának jelzésére. Hangsúlyozza azonban, hogy a talajvizsgálatok nem helyettesítik az egzakt szabadföldi kísérleteket, mindkét eszközre szükség van a műtrágyázás irányításában. Véleménye szerint a talaj könnyen oldható táplálóanyag mennyiségével összefügg a termés, ez az összefüggés azonban nem egysíkú, mert számos egyéb tényező befolyásolja. E tényezők közül a talajt emeli ki: "A kutatók vegyék figyelembe a talajtípusok eltérő dinamikáját és ehhez alkalmazkodva állapítsák meg a határértékeket és értékeljék az elemzési adatokat. Sokkal kevesebb volna az ellentmondás és biztosabbak volnának a következtetések, ha nem általánosan, hanem talajtípusok szerint keresnék a gyakorlati követelmények határait. Világosan bizonyítja ezt az a körülmény is, hogy egyes kutatók által szűkebb körzetben sikerrel alkalmazott határértékek más, elütő típusú talajvidékeken már nem megfelelők."

A rendelkezésre álló vizsgálati anyag nem tette lehetővé 'SIGMOND számára a tápelem-ellátottsági határértékek talajtípusonkénti finomítását, de lúgossági fokok szerint igen. A talaj mérszertartalmának emelkedésével ugyanis nő a híg HNO_3 -ban oldódó P mennyisége is, bár a növény számára ez nem jelent ténylegesen javuló P ellátottságot. A határértékek ezért meszes talajon magasabbak.

A 'SIGMOND tanítványok közül elsősorban id. VÁRALLYAY (1950, 1954) és DWORÁK (1930, 1943) munkásságát kell megemlítenünk, akik a talajvizsgálati adatok és a műtrágyahatások közötti összefüggések tisztázásán igen eredményesen dolgoztak. A talajvizsgálatok iránti érdeklődés fokozatosan emelkedik és az 1920-as évektől kezdve egyre több helyen végeznek analíziseket Magyarországon a talajjavítások és a műtrágyázás irányítására. Az 1930-as évek elején indul az első nagyszabású, talajvizsgálatokkal összekapcsolt műtrágyázási kísérleti akció. A műtrágyahatás és a talajvizsgálati adatok összefüggéseinek tanulmányozása közvetlen pozitív eredménnyel nem járt - állapítja meg VÁRALLYAY - de számos tanulsággal szolgált a résztvevő kutatók számára. Hozzátehetjük az utókor számára is, mert az eredménytelenség

okainak elemzése lehetővé tette a haladást, a továbblépést, az elvi és módszertani tisztázatlanság felszámolását. Foglalkozunk össze a tapasztalatokat.

A II. világháborúig Magyarországon - hasonlóan mint Európa számos más országában - a talaj tápelem-ellátottságának megítélése NEUBAUER módszerrel történt. A módszer talajtól függetlenül általános ellátottsági határértéket adott meg, amely alatt műtrágyahatás várható, míg felette nem. Ezt az egysíkú összefüggést az 1932-36. évek szabadföldi kísérletei nem igazolták, ezért nem járt közvetlen pozitív eredménnyel az akció. A vizsgálatok során több kémiai és mikrobiológiai módszert (LEMMERMAN, 'SIGMOND, Azotobacter, Aspergillus stb.) hasonlítottak össze a standardként elfogadott növényfiziológiai módszerrel. "Azt néztük, hogy az egyes módszerek hogyan egyeznek egymással és a fő cél, a talajvizsgálat-műtrágyahatás összefüggése elveszett a szem elől". VÁRALLYAY levonja a tanulságot, hogy a sok ismétlés nélküli vizsgálat helyett egyszerű és gyors módszerre van szükség, mert mindegyik módszer jó lehet csak kalibrálni kell.

Nemcsak a talaj tápanyag-ellátottságának becslése volt problematikus, hanem a műtrágyahatások mérése is. Rossz volt a kísérleti technika, mert nagy parcellákkal dolgoztak és így a talaj homogenitása egy kísérleten belül sem volt biztosított. A kísérleteket csak egy évig folytatták, illetve évente más-más helyen állították be. A tapasztalatokon okulva az 1930-as évek végétől VÁRALLYAY saját kezdeményezéséből mintegy 125 kísérletet állított be az ország különböző tájain, különböző talajtípusokon. Ezek a kísérletek már kisparcellás, ismétléses és statisztikailag értékelhető kísérletek voltak. A kezeléseket tekintve klasszikus tápanyagihiány-kísérlet sémájáról van szó, egyszerűsítve (kontroll, N, P, K, NP, NPK). A műtrágyaadagok átszámítva mintegy 40 kg N-t, 60 kg P₂O₅-t és 80 kg K₂O-t jelentettek hektáronként. A talajmintavétel sorozatonként 1-1 átlagmintával történt, a műtrágyahatásokat pedig több évig egy helyen forgóban vizsgálta.

Talajvizsgálatok céljaira a gyors, szériavizsgálatokra alkalmas EGNÉR-RIEHM DL-módszerét választották. Laboratóriumban emellett mikroadagú trágyázással összekötött 18 napos érlelést is végeztek, hogy az adott talaj DL-P₂O₅ tartalmának meghatározásán túl a százalékos változásokra is információt nyerjenek trágyázás hatására. Az érlelése vizsgálatokból következtetni lehetett arra, hogy mi lesz a műtrágya sorsa a talajban, mennyi kötődik le illetve marad oldható formában és emeli a talaj könnyen felvehető PK tartalmát. Ez utóbbi abból a tanulságból eredt, hogy általános határértékek nincsenek, a talajtípust is figyelembe kell venni. Egy típuson belül a talaj-trágya kölcsönhatás dinamikája azonos vagy hasonló (adszorpció, deszorpció stb.), mint ahogy azt 'SIGMOND előre látta.

VÁRALLYAY (1954) a talajvizsgálati ellátottsági határértékeket talajtípusokra és kultúrákra finomította. A meszes homok és mészből gazdag mezőségi talajokon az adszorpció mérsékelte, a feltáródás esetenként élénkebb, ezért itt a DL-P ellátottsági értékek magasabbak, míg a savanyú erdő, Duna öntés és a savanyú homoktalajokon a határértékek alacsonyabbak (4. táblázat).

A műtrágyahatásokat elemezve megállapítást nyert, hogy az átlagos P-hatás csekély, mintegy 8 % a 125 kísérlet átlagában. Egyes talajokon a hatás 12-14 %-ra emelkedik (Duna öntés, mezőségi vályog). Ha a típusokon belül tovább finomítunk az ellátottsági határértékek szerint, akkor a P-hatás 17-21 %-ra emelkedik, amely már nagyon gazdaságossá tette a foszforműtrágyázást. A növény figyelembevételével a P-hatás tovább nőtt, a kalászosok a legjobban reagáltak, majd a burgonya, míg a kukorica alig reagált a műtrágyázásra.

4. táblázat A talajvizsgálati adatok értelmezése néhány hazai talajon VÁRALLYAY (1954) szerint

Talajok, típusok megnevezése	Kísérletek száma db	Kielégítő ellátottság			P-megkötődés 20 mg·kg ⁻¹ P-ből DL-oldható mg·kg ⁻¹
		DL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	DL-K ₂ O mg·kg ⁻¹		
			Kalászos	Kapás	
Savanyú erdő	35	40	75	150	4
Savanyú homok	13	60	75	150	5
Duna öntés	20	60	75	150	8
Meszes homok	3	100	75	150	12
Mezőségi vályog	19	120	75	150	10

A K-hatásoknál hasonló törvényszerűségeket figyelhetünk meg. Az átlagos hatás kicsi, 8 % körüli. Típus szerint elkülönítve eléri a 16 %-ot is, további finomítással a határértékek alapján a 28 %-ot. Igen fontos itt a növénycsoport figyelembevétele. Míg az átlaghatás kalászosoknál 5 % körüli, addig pl. burgonyánál 12 %. VÁRALLYAY ezért K ellátottsági határértékeket külön állapít meg a kalászosokra (75 mg·kg⁻¹ K₂O) és külön a kapásokra (150 mg·kg⁻¹ K₂O). A műtrágyahatások elemzéséről az 5. táblázat tájékoztat.

5. táblázat. A műtrágyahatások elemzése VÁRALLYAY (1950) kísérleteiben

Talajok megnevezése	P-hatás %-ban		K-hatás %-ban		N-hatás %-ban
	1	2	1	2	
Savanyú erdő	7	19	7	9	21
Savanyú homok	13	14	12	14	26
Duna öntés	12	17	16	28	13
Meszes homok	13	14	12	14	26
Mezőségi vályog	14	21	4	4	9
Átlagosan	8	15-20	8	10-20	17

1=típusok átlagai, 2= típusokon belül a határérték alatt

Nitrogénnél az átlaghatások is nagyok (17 %), tehát még akkor is igen gazdaságos, ha sablonosan alkalmazzuk. Talajaink N ellátottsága gyenge és a műtrágya-N nem adszorbeálódik úgy a talajban mint a foszfor és kálium. Nem a szuperfoszfát a magyar föld műtrágyája, hanem a pétisó - állapítja meg Várallyay, hisz még a pillangósok után is jelentős N-hatások mutatkoztak. A műtrágyaelosztás országos tervezésénél ezeket a szempontokat szem előtt lehetett tartani, a P műtrágyákat a P-ral gyengébben ellátott mezőségi vályog és Duna öntés talajokra irányítva a hatékonyságot emelhetjük. KERESZTÉNY (1958) később statisztikai összefüggéseket is keres a műtrágyahatások és a talaj könnyen oldható tápelem-tartalma között.

VÁRALLYAY halálát követően bizonyos pangás, törés következett be a fejlődésben, nem volt, aki kellőképpen megértette és továbbvitte volna ezt a munkát. Sajnálatos, mert éppen az elmúlt időszakban lehetőségeink bővültek (újabb kutatóintézetek, tanszékek és talajvizsgáló laboratóriumok alakultak), a műtrágya-felhasználásunk megsokszorozódott és a racionális műtrágya felhasználás iránti igény egyre inkább követelte a talajvizsgálati adatok és a műtrágyahatások közötti összefüggések részletesebb feltárását. Bár számos

agrokémikus mint SIK (1964), SIK és FÁBRYNÉ (1950), SIK és SCHÖNFELD (1951) értékes módszertani részeredményeket ért el, a munka lendülete VÁRALLYAY halálával alábbhagyott. A műtrágyahatások vizsgálatát célzó műtrágyázási kísérletek száma erősen lecsökkent. Ez utóbbihoz hozzájárult a VILJAMSZ-LISZENKO féle irányzat elterjedése is, amely a talajszerkezet, illetve a füves vetésforgó szerepét hangsúlyozta a műtrágyázás rovására.

SARKADI és munkatársai (SARKADI, KRÁMER 1961, 1966; SARKADI 1959; SARKADI et al. 1965, 1966; THAMMNÉ et al. 1968. stb.) számos munkájukban foglalkoztak a műtrágyaigény becslésének elvi és módszertani problémáival és provizórikus határértékeket is javasoltak az AL-, illetve DL-módszerrel kioldható PK-tartalomra. Ráműtött arra, hogy a hazánkban korábban használatos DL-módszerrel talajaink P-ellátottságát meszes területeken jelentősen alábecsülhetjük a P másodlagos kicsapódása miatt. Ezért javasolták az AL-módszerre való áttérést, ahol a Ca-laktát helyett a 3,7 pH-ra puffertolt ammóniumlaktát szerepel oldószerként. Az AL-kivonat pH értéke RIEHM (1958) vizsgálatai szerint még a mintegy 30 % CaCO₃ tartalmú talajokon is 5, azaz a CaHPO₄ kicsapódásának küszöbértéke alatt van.

Többen, köztük az említett szerzők összefüggést kerestek a talaj mészállapota illetve pH értéke és a talajvizsgálati adatok között, korrekciós faktorokat dolgoztak ki a DL-értékeknek AL-értékekre való átszámításához. Az AL-P/DL-P viszonyzáma karbonátmentes talajon 1:1,5, 2-10 % CaCO₃ tartalmú talajon 1:2, 10 % CaCO₃ felett 1:4-5 körül adódott. Az utóbbi években FÜLEKY (1973, 1974, 1975, 1976) végzett módszertani vizsgálatokat, amelyekben a talajok foszforállapotának nyomon követésére több konvencionális módszert hasonlított össze, illetve a különböző kémiai kötésű foszfátvegyületek dinamikáját elemezte trágyázás hatására a CHANG-JACKSON-féle frakcionálás módszerével. Megkísérelte egy-egy jellegzetes talajtulajdonság mint a mészállapot, humusztartalom, mechanikai összetétel szerepét is bemutatni a talaj P állapotának kialakításában.

Az 1950-es évek második felében, illetve az 1960-as években beállított szabadföldi kísérletek egy részében a műtrágyák és az istállótrágya hatását hasonlították össze. Ezek a kísérletek a gyakorlat által felvetett egyik fontos kérdésre adtak pozitív választ. Bizonyították különböző talajon és eltérő vetésforgókban, hogy istállótrágyázás nélkül csak műtrágyákkal is fenntartható és növelhető a talaj termékenysége. A műtrágyák termésmenővelő hatása nemcsak eléri, hanem a műtrágya-N jobb hasznosulása miatt meg is haladhatja az azonos tápanyagtartalommal rendelkező istállótrágya hatását (BALLÁNÉ 1962, 1963, 1964; KRÁMER 1967; SARKADI és BÁNÓ 1967; DOROGI 1963; KÜKEDI 1961; LATKOVICSNÉ 1958; SARKADI 1965; LÁNG 1960 stb.).

A szabadföldi kísérletek nagyobbik részében - az előbb említett istállótrágya és műtrágya összehasonlító kísérletekben is - természetesen fő cél az optimális műtrágyaadag meghatározása volt, tehát a műtrágyaigény becslése. A különböző talajokon illetve tájakon beállított adag-arány kísérletek tartamjelleggel folytak eltérő növényi sorrend mellett, hogy az időjárás és a növényváltás műtrágyaszükségletet módosító szerepét is figyelembe vehessük (LATKOVICSNÉ 1967, 1976, 1960; LATKOVICSNÉ és KRÁMER 1968; BALLÁNÉ 1968; SARKADI és DEBRECZENI 1958; SARKADI 1975; KRÁMER 1967; LÁSZTITY 1974, 1974a; PEKÁRY 1969; LÁNG 1973; BÁNÓ és KRÁMER 1963, 1964; BAUER 1964; GYÖRFFY 1961. stb.).

Az adag-arány kísérletekben megállapított műtrágyázási optimumok kezdetben jól felhasználható irányszámokat adtak az adott talajra, tájra és növényre, mert a műtrágyázási tapasztalat általánosítható volt. Amint arra az országos tápanyag-mérlegek vizsgálatánál rámutattunk, talajaink évezredes rablógazdálkodásának eredményeképpen a tápanyag-ellátottság általában gyenge volt, ez a magyar talajok általános és közös jellemzője az 1950-es évek végéig. Az 1950-es évek vége óta ez a helyzet gyökeresen átalakult. A dinamikus emelkedő műtrágya felhasználás viszonylag rövid idő alatt megváltoztatta a talajok tápanyagállapotát. Mind a talajtermékenység alakulása, mind a műtrágyahatások szempontjából az egyes üzemek eltérő műtrágyázási gyakorlata, a trágyázási múlt vált döntő tényezővé. Egyazon tájon és talajtípuson belül is egyaránt találhatunk igen kis tápanyag-tartalmú és gyenge termékenységű táblákat vagy üzemeket és tápanyaggal igen jól ellátott terményeket. Helyenként a talajok tovább szegényedtek, esetleg nem változtak, de legtöbbször gyorsan gazdagodtak - "feltöltődtek" - a főbb tápanyagokban. A növény által kivont mennyiséget jelentősen meghaladó tápanyag-visszapótlás akkumulációt eredményezett a talajokban.

Az adag-arány kísérletek műtrágyaszükségletet becsülő informatív jellege így fokozatosan csökkent, eredményeik egyre kevésbé általánosíthatók. Nem mondhatjuk, hogy pl. "a dunántúli mezőségi vályog" talajokon nagyok a P-hatások. Melyik mezőségi vályogról van szó? Ahol az ammóniumlaktát+ecetsavas (AL) oldható P_2O_5 vagy K_2O tartalom a talajban 40-50, vagy ahol 300-400 $mg \cdot kg^{-1}$? A típust, mint eltérő talajtulajdonságok (pH, mészállapot, humusztartalom, kötöttség stb.) hordozóját a tápelem-ellátottságot jellemző talajvizsgálati határértékek kialakításánál vehetjük figyelembe, amennyiben e talajtulajdonságok határértéket módosító szerepe tisztázott. Az említett kísérletek ugyanakkor felbecsülhetetlenül értékes és fontos adatokat szolgáltatnak és szolgáltatnak ma is a tartós műtrágyázás talajra és növényre gyakorolt hatásairól.

A műtrágyaigény becslését azonban talajvizsgálatokra és a növényelemzés adataira kell alapoznunk. A felhasznált műtrágya mennyiségével párhuzamosan nőtt a talajvizsgálatok száma Nyugat-Európa államaiban, állapítja meg SZABOLCS (1969). Az idegen nyelvű szakirodalom tanulmányozásánál is szembetűnő, hogy a talajvizsgálati adatok és a műtrágyahatások közötti összefüggések vizsgálata azon országokban illetve körzetekben vetődött fel élesebben és rendelkezik több évtizedes múlttal, ahol már régóta intenzív műtrágyázás folyik. Elsősorban a nyugat-európai országokban, Szovjet-Középázsia öntözött régi kultúrájú területein és különösen a II. világháború utáni évtizedekben.

2.2. Tendenciák az újabb külföldi szakirodalomban

Az idegen nyelvű irodalom áttekintésénél hely hiányában csak néhány, közvetlenül a talajvizsgálati adatok és a műtrágyahatás összefüggéseit taglaló munkákra szorítkozom, illetve azokra, amelyek eredményei saját kísérleteink értelmezésénél segítséget nyújthatnak. Az irodalom szelektálásánál még egy szempontot figyelembe vettem. Tekintettel arra, hogy saját kísérleteinkben AL és Olsen módszerrel dolgoztunk, így elsősorban a laktátos (AL, CAL, DL) és a karbonátos (MACSIGIN, OLSEN) oldószerekkel nyert talajvizsgálatokat taglaló közleményeket részesítem előnyben.

KUZYNECOV (1973) Kirgizia öntözött földjein, szabadföldi kísérletekben szoros összefüggést állapít meg a kukorica termése és az 1 % ammóniumkarbonát-oldható foszfortartalom között. Csernozjomon, réti talajon és gesztenyebarna talajon 20-50 mg·kg⁻¹ P₂O₅ értékeknél a P trágyázás kukoricánál hatástalanná vált.

KATAEV (1970) a P műtrágyázás termésre gyakorolt hatását gyapot jelzőnövényen vizsgálta szabadföldi tartamkísérletekben, amelyek talajai eltérő foszforellátottságot reprezentáltak. A Macsigin-módszerrel meghatározott könnyen oldható P tartalom és a P hatások közötti kapcsolat alapján a következő határértékeket javasolta szaktanácsadás céljára: 5-15 mg·kg⁻¹ P₂O₅ esetén gyengén ellátott, nagy P hatások várhatók; 16-30 mg·kg⁻¹ P₂O₅ esetén gyenge közepesen ellátott, mérsékelt P hatások várhatók; 31-45 mg·kg⁻¹ P₂O₅ esetén közepesen ellátott, bizonytalan P hatás várható; 46-60 mg·kg⁻¹ P₂O₅ esetén jól ellátott, P hatás nem várható.

KRUPKIN (1969) öntözött viszonyok között gesztenyebarna talajokon konstatálja a könnyen oldható N és P tartalom, valamint a N és P műtrágyahatások közötti negatív összefüggéseket. Hangsúlyozza, hogy a talaj N ellátottsága a P hatásokat befolyásolja, a kapcsolat itt pozitív. A P hatások elmaradásának oka tapasztalatai szerint gyakran a talaj nem kielégítő N ellátottsága. Ez utóbbi körülményt a gyakorlati szaktanácsadás során is figyelembe kell vennünk.

CSUMACSENKO és munkatársai (1969) öntözött csernozjom talajokon végeznek szabadföldi kísérleteket és megállapítják, hogy a Macsigin-oldható P tartalmat 25-35 mg·kg⁻¹ eléréséig célszerű emelni a talajban. Véleményük szerint a határértékek kutatása mellett a tápanyagszintek fenntartásának kérdéseire is nagyobb figyelmet kellene fordítani a jövőben.

ANTIPINA (1969) csernozjom talajokon végzett szabadföldi és tenyészedény kísérletekben arra a következtetésre jut, hogy a mintegy öt kémiai módszerrel meghatározott könnyen oldható P-tartalom és a P hatások között a negatív összefüggés minden esetben jól kimutatható. Ezeket az összefüggéseket, illetve a P-hatásokat azonban az elővetemény, év, a műtrágya adagja is befolyásolja. Különösen nagy P hatásokat figyelt meg a szárazabb években.

PONOMAREVA (1973) szerint a Macsigin-felvehető P tartalom változása Kazahsztán csernozjom és gesztenyebarna talajain a P-trágyázás fokától és a terméssel kivont P mennyiségétől, tehát a tápanyag-mérlegtől függ. A trágyázás évében 100 kg·ha⁻¹ P megközelítően 10-15 mg·kg⁻¹ értékkel növeli a talaj könnyen oldható P tartalmát. A megemelt P szintje stabil, és jelentős utóhatásokra számíthatunk nagyadagú P trágyázás esetén. Ez utóbbi körülmény arra utal, hogy a P nem kötődik meg irreverzibilisen a talajban. A talaj felvehető P tartalma és a cukorrépa, burgonya, valamint a kalászosok termése között szoros pozitív összefüggés volt tapasztalható. A P hatások a talaj felvehető P tartalmától függenek. Megbízható P hatások várhatók pl. cukorrépánál 25 mg·kg⁻¹ P₂O₅ tartalom alatt.

BERGMANN és WITTER (1965), valamint WITTER és BERGMANN (1963) NDK, 22 P-trágyázási tartamkísérletében a maximális termést és a DL-oldható P-tartalmat a legnagyobb P adagnál kapták, ha a talaj P-ral rosszul ellátott volt. Közepes ellátottságon a P-hatás csekélynek mutatkozott, a trágyázás hatására azonban a talaj könnyen oldható P tartalma tovább emelkedett. A magas P ellátottságon általában P hatásokat nem tapasztaltak és a P trágyázás ellenére a talaj DL-P tartalma enyhén csökkent. A

szerzők a 80-150 mg·kg⁻¹ DL- P₂O₅ tartalmat tekintik közepesen ellátottnak minden talajtípuson.

KERSCHBERGER és RICHTER (1972) szabadföldi kísérletekben számszerű összefüggést állapítanak meg a talajban maradó, a növény által felvett P mennyiségén túl adagolt műtrágya-P és a talaj könnyen oldható P tartalmának növekedése között. Vizsgálataik szerint ahhoz, hogy a talaj DL-oldható P tartalmát 5 mg·kg⁻¹ értékkel emeljük, könnyű talajokon 83, míg kötöttebb talajokon mintegy 52 kg P-ra van szükség. A foszforral rosszul ellátott talajokon lassú feltöltést javasolnak 5-8 év alatt, évenkénti 2-5 mg·kg⁻¹ növekedéssel számolva a könnyű, valamint 4-7 mg·kg⁻¹ feltöltéssel a kötöttebb talajokon. Ilyen mértékű talajgazdagító foszfortrágyázást még a növény évente is visszafizethet. Speciális esetekben igen rosszul ellátott talajokon a gyors, 1-2 év alatti feltöltést is elfogadhatónak tartják.

RICHTER és KERSCHBERGER (1972) vizsgálataikat az AL-módszerre is kiterjesztették és nagyszámú DL-oldható P-tartalom átszámítása alapján a közepes ellátottsági tartományt 110-260 mg·kg⁻¹ P₂O₅ felvehető P-tartalommal jellemezték. A DL-adatok átszámításánál könnyű talajon 1,7; agyagon pedig 3,9 szorzófaktorot javasoltak P esetén. A közepesen ellátott talajokon az évi 66 kg P₂O₅ ha⁻¹ foszforadag elegendőnek bizonyult, hogy a 4,4-6,4 t·ha⁻¹ G.E. maximális termésszinteket biztosítsa.

RIEHM és WICHENS (1967) az NSZK-ban felhívják a figyelmet arra, hogy elengedhetetlen az egész országra kiterjedő rendszeres és kötelező talajvizsgálat, amely képet ad a talajok tápanyagállapotáról, lehetővé teszi a műtrágyaigény pontosabb becslését és ezzel növeli az ország mezőgazdaságának teljesítményét. A közepesen ellátott tartományt 100-180 mg·kg⁻¹ DL-P₂O₅-ről felemelni javasolják, mert itt még jelentős P hatások mutatkoznak. Véleményünk szerint a talajok feltöltését csak nagy, 100-180 kg·ha⁻¹ P₂O₅-adagokkal érdemes végezni.

MUNK (1969, 1971) a foszfor-ellátottsági határértékeket rét-legelőn vizsgálva megállapítja, hogy a talaj felső 0-10 cm-es rétegében, 200-250 mg·kg⁻¹ DL-P₂O₅ értékek felett laposodnak el a hatásgörbék, tehát a mintegy 42 P tartamkísérlet alapján a típustól függetlenül az e feletti ellátottsági tartományt tekinthetjük jól ellátottnak. Irodalmi áttekintés alapján utal arra, hogy a határértékek idővel felfelé tolnak el a kísérletekben a javuló agrotechnika eredményeképpen. Tekintettel arra, hogy még a jól ellátott talajokon is van P megkötődés, illetve 100 %-os hasznosulás még itt sem várható, ezért a mérleget meghaladó adagokkal kell trágyáznunk.

GERICKE (1953, 1961, 1963, 1963a, 1963b, 1965, 1967, 1967a stb.) igen nagyszámú foszfortrágyázási kísérletet végez az NSZK-ban, ahol különböző jelzőnövényekkel és eltérő talajviszonyok között vizsgálja a P műtrágyák hatékonyságát befolyásoló tényezőket. A talaj P ellátottsága és a burgonya termése közötti viszonyokat elemezve kimutatja (1953), hogy a rossz termések oka gyakran a talajok gyenge foszforellátottsága. Bár a csapadék is minimumban lehet, a vízhasznosulást jelentősen javíthatjuk P-trágyázással, e két tényező pozitív kölcsönhatásban áll egymással. Másutt (GERICKE 1953, 1965, 1967) a P-adag nagysága és a P-hatás gyakorisága közötti összefüggést elemezve kiemeli, hogy a nagyobb-P adag alkalmazásakor biztosabb a P-hatás, nagyobb a terméstöbblet még a jól ellátott talajokon is. Burgonyánál a talaj P-ellátottsága, valamint a P-trágyázás függvényében a termések alakulását a következő számadatokkal jellemzi:

A talaj P-ellátottsága DL- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	Gumótermés t·ha ⁻¹ NK alapon	Terméstöbblet P ₂ O ₅ hatására, %		
		60	120	180
15 alatt	26,6	2,2	2,7	3,2
15-25	28,8	1,6	1,8	2,1
25 felett	29,0	1,0	1,4	1,6

Nem a P trágyázás ideje a fontos, hanem a mennyisége (GERICKE 1961). Mintegy 90 burgonyatrágyázási szabadföldi kísérlet eredményeit összefoglalva utal az egyes tápelemek közötti pozitív kölcsönhatásokra. A gumótermés-többletek a következőképpen alakultak NPK műtrágyázás hatására t·ha⁻¹-ban kifejezve:

N-trágyázás N kg·ha ⁻¹	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹		K ₂ O kg·ha ⁻¹		
	50	100	60	100	160
40	3,5	4,3	3,7	3,5	4,1
60	5,3	7,5	5,2	5,6	7,3
80	6,7	10,4	6,2	7,1	10,4
Átlag	5,2	7,4	5,0	5,4	7,3

Egyik közleményében (GERICKE 1967a) összesen 2000 db trágyázási kísérlet eredményeit elemzi, amelyeket az NSZK területén folytattak 0, 60, 90, 120 kg·ha⁻¹ P₂O₅ adagokkal. A hangsúlyt a P-hatások megállapításánál a statisztikai átlagokra helyezi, nem pedig a regionális különbségekre. A P átlagos hatékonysága 90 kg·ha⁻¹ P₂O₅ adagnál, azaz az 1 kg·ha⁻¹ P₂O₅-re eső terméstöbblet: gabonaféléknél 6,2 kg szem; 56,6 kg burgonya; 64,4 kg cukorrépa és 140 kg takarmányrépa volt. Amint a kontroll parcellák termései mutatták, összefüggés áll fenn a talaj P-ellátottsága és a termésszintek között, tehát a P a talaj termékenységének fontos eleme.

Nem igaz - állapítja meg ugyanitt GERICKE - hogy a 100-180 mg·kg⁻¹ DL-P₂O₅ ellátottság mellett csak a 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ fenntartó trágyázást érdemes folytatni, mert itt már nem várható P hatás. A 200 mg·kg⁻¹ felett is (a kísérletek 60 %-ában) szignifikáns terméstöbbleteket lehetett kimutatni, amely gazdaságossá tette a trágyázást a gabonaféléknél és különösen a káposztánál. Rét-legelők a hatások gyakorisága 78 % volt és igen gazdaságos. A talaj P-ellátottságának emelkedésével nő a termésszint és csökken a %-os termésszint. Tanulságos áttekinteni a terméstöbbletek alakulását a talaj P ellátottsága, valamint a P trágyázás függvényében:

A talaj P-ellátottsága DL- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	Terméstöbbletek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ adagnál, t·ha ⁻¹					
	őszi búzaszem		cukorrépa gyökér		takarmányrépa gyökér	
	60	120	60	120	60	120
5 alatt	0,59	1,11	4,0	8,4	8,5	16,8
5-10	0,39	0,87	3,4	7,5	6,7	15,9
10-15	0,53	0,83	2,4	5,5	5,1	13,3
15-20	0,57	0,84	2,0	3,5	4,6	8,6
20 felett	0,45	0,91	1,6	2,3	1,6	1,6

PFULB (1965), KÖHNLEIN-KNAUER (1965) és PFULB-WIECHENS (1970) hasonló következtetésekre jutnak a határértékek vizsgálatánál. A 100-180 mg·kg⁻¹ DL-P₂O₅

értékeket alacsonynak minősítik, mert 200-250 mg·kg⁻¹ ellátottságon átlagosan 6-7 % terméstöbbleteket regisztrálnak 90-135 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagok alkalmazása esetén Baden-Württemberg tartományban.

FINGER (1966, 1966a) a Rajna-vidéken végez kísérleteket hasonló céllal. A kísérletek száma elég nagy: 34 tartamkísérlet kapás- és takarmánynövényekkel, 79 gabonafélékkel és 28 egyéves kísérlet burgonyával. A talaj P-ellátottsága és a P-trágyázás hatékonysága közötti összefüggéseket különböző kultúrákban mutatja be. FINGER konstatálja, hogy a magasabb ellátottságú tartományokban is gyakori a P-hatás, ezért a határértékeket 200 mg·kg⁻¹ fölé javasolja emelni:

A talaj P-ellátottsága DL- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	Kísérletek száma		Relatív termés P0 = 100					
			P1	P2	P3	P1	P2	P3
	I	II	Kapás- és takarmánynövény			Gabonafélék		
7 alatt	7	15	123	133	137	103	104	107
7-14	20	49	103	105	107	103	105	106
14 felett	7	15	108	109	111	107	110	108

I = Kapások, takarmánynövények: P1-P2-P3 = 90-120-150 kg P₂O₅ ha⁻¹

II = Gabonafélék: P1-P2-P3 = 60-90-120 kg P₂O₅ ha⁻¹

ZEZSCHWITZ (1953) szerint minél szegényebb egy talaj, annál nagyobb a P lekötődése, ezért itt nagyobb adagokkal kell trágyázni, mert csak így nyerhetünk jelentős terméstöbbleteket és tölthetjük fel egyidejűleg a talajt. Kísérleteiben a P-trágyázás fajlagos hatékonyságának optimuma nem a legkisebb 30 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagnál, hanem a talaj P-ellátottságától függetlenül a magasabb 50-60 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagnál jelentkezett.

NEERGAARD (1962) mintegy 265 szabadföldi kísérlet eredményeiről számol be, amelyeket 1954-60 között végeztek a szaktanácsadók Dániában. Műtrágyaként Thomashosphat-ot alkalmaztak. Leggazdaságosabbnak a legnagyobb adagú kezelés bizonyult minden talajon.

SCHMITT (1967) az 1900-ban WAGNER által beállított szabadföldi kísérletek eredményeit ismerteti, amelyben 0, 64 és 128 kg P₂O₅ ha⁻¹ évi adagokat alkalmaztak Thomashosphat formájában. Az európai kontinens egyik legrégebbi szabadföldi kísérletében, kötött erdőtalajon, 50 éves utóhatásokat is megfigyelt. Az utóhatások mértéke még igen jelentős volt, mintegy 0,5-0,8 t·ha⁻¹ gabonaszem évente. A bevitt P hasznosulása 58 %-ot tett ki 1900-1965 között az első 15 évi hatást és az azt követő 50 éves utóhatást összegezve. A szerző szerint a termés által kivont P mennyiségét jelentősen meghaladó túltrágyázás a célszerű, amely a talaj feltöltését eredményezi.

AUFHAMMER et al. (1966) az előretrágyázás hatékonyságát vizsgálva réteken arra a következtetésre jutnak, hogy a kísérletek P-szegény talaján is gazdaságos az előretrágyázás. Az évente adott 60, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ és az 5 évre adott 300, 600 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagok azonos trágyahatásokat produkáltak a ciklus alatt, a széna termése, valamint annak P% tartalma megduplázódott. A nagyobb adagú előretrágyázási kezelés előnyösebbnek mutatkozott.

STOCKER és GERICKE (1967) kiemelik, hogy a P trágyázás az azonnali növényhatáson túl kivált egy lassú "talajhatást" is. A terméssel kivont mennyiségeket meghaladó műtrágyaadagok emelik a talaj tápanyagszintjét, ezért a gyengén

ellátottakon jelentős túltrágyázásra van szükség. A P-hatás nő az évekkel, amely éppen az akkumuláción nyugszik:

Évek	Terméstöbblet G.E. t·ha ⁻¹ , P trágyázás hatására		
	60 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	120 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹	Különbség (120-60)
1-3	0,87	1,01	0,14
4-6	0,91	1,07	0,36
7-9	0,86	1,16	0,30
10-12	1,01	1,51	0,50
13-15	1,03	1,59	0,56

G.E.=Gabonaegység

ANTIPINA (1971) megállapítása szerint minél jobban ellátott egy talaj foszforral, annál nagyobb a várható utóhatás a P műtrágyázásnál. Ahol ugyanis kicsi a felvehető P-tartalom a talajban, illetve régóta nem trágyáztak, ott a talaj szilárd fázisa erősebben fixál és a talajoldat koncentrációja csak nehezen emelkedik. Ahhoz, hogy a talajoldat koncentrációja megnőjön, egy bizonyos feltöltöttségre van szükség.

KUDZIN et al. (1970) számos szakirodalmi forrásmunka áttanulmányozása alapján hangsúlyozzák, hogy míg az egyoldalú NK trágyázás a talaj P készletét mobilizálja, a talajt fokozatosan elszegényíti, addig a nagyobb adagú P-trágyázás vele ellentétes folyamatot tételez fel. Utóbbi esetben az újonnan bevitt P trágyák egy idő után hatástalanná lesznek, mert fokozatosan felhalmozódnak a talajban könnyen felvehető formában, különösen a régi kultúrájú vidékeken. Ez a jelenség minden talajon megfigyelhető. Amikor a következő P trágyázás már depressziót okoz, bekövetkezett a P túlsúlya a talajban, amely zavarhatja más elemek felvételét (ionantagonizmusok, szinergizmusok). Különösen a kukorica érzékeny az indukált Zn hiánnyal szemben.

SZOKOLOV (1958, 1976) a foszfortrágyázás tapasztalatait elemezve megemlíti, hogy a különbség-módszerrel mért N hasznosulása illuzórikus, így alábecsüljük a tényleges P hatásokat. A P felhalmozódik a talajban, amint a kísérletek és a gyakorlati tapasztalatok is bizonyítják, és ekkor már differenciáltan kell a P-trágyázást végezni. A hatás itt nem biztos, sőt káros is lehet a trágyázás, éppen ezért kutatásaink fő irányát képezik e körülmények között a talaj tényleges tápanyag-ellátottságának és ezzel a várható műtrágyahatásoknak az előrejelzése.

DMITRENKO et al. (1971) szabadföldi és tenyészedeny kísérletek adatai alapján arra hívják fel a figyelmet, hogy a P hatása illetve utóhatása jelentős mértékben a N szint függvénye. Csernozjom talajon a N szintjének emelésével megnőtt a trágyák hatása és utóhatása, a talajban maradt P hasznosulása is. A P szint változtatásával a N szintet is változtatni kell, ezt a körülményt az eltérő vetéscserék trágyázásánál különösen tekintetbe kell venni.

MIHAJLINA (1972) a foszforhatásokban és utóhatásokban megnyilvánuló törvényszerűségeket a zonalitás függvényében vizsgálja. A Szovjetunió különböző övezeteiben a P hatások eltérőek ugyan, de minden talajon nőnek a P adaggal és jelentős utóhatásokat mutatnak, amely lehetővé teszi a tartaléktrágyázást.

SZARASVILI és EGORASVILI (1974) Grúzia krasznozjom teaültvényein konstatálja, hogy a korábbi véleményekkel ellentétben a pH 6-ról 3 alá is lemehet a talajban, mert ez nem vezet a tea károsodásához, amennyiben elegendő foszfort adunk.

Nem meszezésre van szükség elsősorban, hanem a talaj felvehető P tartalmának emelésére. A termékeny kultúrtalaj nem a 6 feletti pH-hoz, hanem magas P-ellátottsághoz kötődött. A telepítéskori feltöltő P-trágyázás a savanyú talajok mérgező alumínium szintjét is semlegesítette, javította a talaj szerkezetét, növelte a szántott réteg málló morzsáinak részarányát, humusztartalmát, csökkentette az erodáltság fokát.

KERN (1965) hasonló megfigyeléseket tesz a meszes "Parabraunerde" talajon. A 39 éves P trágyázási tartamkísérletben egyre nagyobbak a P-hatások, stabilizálódott a termés, javult a termés minősége és a burgonya, valamint a rozs betegségekkel szembeni ellenállósága a P-trágyázott parcellákon. Az 1000 cm³ térfogatú hengerben mért talaj vízáteresztő képessége percben kifejezve az egyes kezelésekben a következőképpen alakult: ϕ = 275, NK = 323, NPK = 351 perc. A vízálló morzsák részaránya szintén előnyösen változott a P trágyázás hatására (%):

Kezelés	5 mm	2 mm	1 mm	0,2 mm átmérővel
ϕ	2,6	2,3	1,3	8,9
NK	3,6	2,2	1,3	8,3
NPK	8,4	3,1	1,3	7,4

SCHMITT és BRAUER (1969) egy 12 éves P műtrágyázási tartamkísérlet eredménye alapján arra a megállapításra jutnak, hogy a korábban hangoztatott véleményekkel ellentétben P- szegény talajon nagyobb adaggal feltöltő trágyázást célszerű végezni, mert különben 10-12 év alatt sem érhetjük el a maximális terméseket. Az intenzív N műtrágyázás bevezetésének alapja a talaj kielégítő P ellátottsága. A gyakorlatnak 3-4 évre javasolja a feltöltést nagy P adagokkal elvégezni, majd a jól ellátott talajon a termések által kivont P mennyiségét 20-40 %-kal meghaladó adagokkal fenntartani. Idézik Wagner-t, aki kijelentette: "...bebizonyítottam, hogy P szegény talajon nagy adaggal feltöltést kell végezni a maximális termés és nyereség elérése céljából."

Az újabb szakirodalmi közlemények mind nagyobb számban hangsúlyozzák, hogy a talaj PK ellátottságának emeléséhez a talajgazdagító műtrágyázást csak kimondottan nagy, a termés által kivont mennyiséget jelentősen meghaladó adagokkal célszerű végezni. A "nagyobb adag" fogalma azonban szerzőnként változik. Így pl. ZEJSCHWITZ (1953) 90-120, GERICKE és BÄRMANN (1963) 120-180, SESTIC és DERKACEV (1963) 180-270, KAMPRATH (1967) 340-680, GERICKE és BÄRMANN (1963a) 600-900 kg P₂O₅ ha⁻¹ maximális adagú kezelésekkel dolgozik szabadföldi kísérletekben.

Az említett kísérletekben jelentős többévi utóhatásokról is beszámolnak legkülönbözőbb talajokon. Így pl. még a foszforban szegény, könnyen oldható vas- és alumíniumban gazdag, erősen foszfátmegkötő észak-karolinai vörös talajokon is a 680 kg·ha⁻¹ P₂O₅ adag 8. éves utóhatása eredményeképpen megduplázódott a kukorica termése. A kisebb, 170 vagy 340 kg·ha⁻¹ adagok ehhez már nem voltak elegendőek (KAMPRATH 1967).

A nagyobb adaggal végzett, a talaj tápanyagszintjének gyors emelését célzó műtrágyázási módszerek vizsgálata nem új keletű. Az első kísérletek az 1900-as évek elején indultak, amelyekben főleg a foszfor és részben a kálium talajban történő degradációját vizsgálták. Az 1950-es évek közepétől különösen intenzívvé vált ez a kísérleti munka a német nyelvű országokban, napirendre került azonban az Egyesült Államokban és Angliában is (KASZICKIJ 1972).

A mezőgazdasági termelés hazánkban is egyre inkább iparszerűvé válik. Az eszközök, nagyteljesítményű gépek lehetővé teszik, hogy az egyes agrotechnikai műveleteket (talajművelés, vetés, növényvédelem, betakarítás stb.) az optimális időben, mennyiségben és minőségben végezzük el. A termésszintek a talaj tápanyagszintjeinek is függvényei, melyek optimalizálása az agrokémia feladata.

Felmerül a kérdés, hogy ha egy talaj gyenge termőképességét egy vagy két tápelem hiányára vezethetjük vissza (pl. a gyenge PK ellátottságra), a harmonikus és kielégítő ellátottságot és ezzel a talaj termékenységét helyreállíthatjuk-e egyszeri művelettel melioratív adaggal, vagy pedig ehhez hosszú évekre van szükség? Lehet-e feltöltő trágyázást végezni? A visszapótlás módjait is tisztázni kell, mert időszzerű és fontos kérdéssé váltak a gazdálkodás mai körülményei között, hisz az iparszerű növénytermelési rendszerek terjedése ellenére talajaink tápanyag-tartalma helyenként még az 1900-as évek elejének színvonalán áll. Munkám egyik célja a feltöltő PK trágyázás módszerének kipróbálása hazai viszonyaink között, a hatékonyságát befolyásoló tényezők elemzésével szabadföldi kísérletekre.

KASZICKIJ (1972) mintegy 250 irodalmi forrásmunka kritikai áttekintésén alapuló monográfiájában elemzi a P és K műtrágyázás hatékonyságát befolyásoló tényezőket, különös figyelmet fordítva az utóbbi időben terjedő előretrágyázás, illetve feltöltő trágyázás problémáira. Összefoglalójára utalva, valamint az eddig taglalt irodalom alapján a PK műtrágyázás mechanizmusának elemei felvázolhatók:

A P és K elemek kimosódása a tápanyagforgalom szempontjából - eltekintve némely extrém viszonytól - nem jelentős. Az utóbbi évek munkái nyomán elfogadott, hogy még az igen savanyú talajokon sem kötődik meg a foszfor teljes mértékben egy viszonylag rövid időszak pl. 1-2 ciklus alatt. A talajba vitt P műtrágya felvehetősége azonban fokozatosan csökken, különösen az erősen fixáló talajokon. A P adag növekedésével a lekötődés mérséklődik, a talaj fokozatosan telítődik.

A talajban felhalmozódik a felvehető PK, amely feltöltéshez vezet minden talajon. A növény táplálását ekkor már a talajba vitt trágyák utóhatása teljesen biztosítani képes. Elvileg 100 %-os utóhatásokat is kaphatunk, de igen alacsony termések árán és igen hosszú időszak alatt. A trágyázás eredményessége szempontjából tehát nem az összes utóhatás a lényeges, hanem az adott ciklusban, időszak alatt kapott és annak intenzitása, amely a maximális terméseket biztosítja. A K esetén a felhalmozódás kicserélhető és nem kicserélhető formákban történik a talajban, a különbség azonban elmosódik a formák között. K-utóhatás kísérlet ugyan kevesebb található az irodalomban, de az általános törvényszerűségei hasonlóak mint a foszfor esetén.

A P-trágyahatás általában nő a trágyaadaggal. Ha a talaj nagyobb megkötőképességgel rendelkezik (régóta nem trágyázott, erősen savanyú stb.), akkor nagyobb adaggal érhetünk el ugyanakkora hatást illetve utóhatást. Az utóhatás időben csökken, de nő az NK alaptrágyázás szintjével. Ahhoz, hogy különböző talajokon azonos tápanyag-koncentrációt hozunk létre, a trágyázást a talaj tápanyagmegkötő képességének arányában kell végezni. Ehhez pl. KORICKAJA (1954) vizsgálatai szerint krasznozjomon mintegy 1, 5; podzolon pedig 1,7-5,3-szor annyi P műtrágyára van szükség mint csernozjomon.

Egy talajtípuson belül az optimális P trágya adagja csökken a savanyútól a meszezett felé és a rosszul ellátottól a jobban ellátott talaj felé. Számos irodalmi utalás szerint az igen nagy adagú P trágyázás szabadföldi kísérletekben igen nagy hatású az

erősen fixáló talajokon, mint a szubtrópusi krasznozjomokon, vörös agyagokon, podzolokon, valamint az enyhén savanyú nyugat-európai talajokon.

Azonos külső körülmények között a PK trágyázás hatékonysága erősen függ a növényfajtól. Közepes adagoknál jól reagálnak a kalászosok különösen a P trágyázásra, azonban a nagyadagú PK műtrágyázásnál a kapások előnye kiugró. Az ellátottság fogalmát tehát a növényre is finomítani kell. A növények trágyakonzentrációja eltérő, ezért más optimumokat (határértékeket) igényelnek a talajban. A trágyázás hat a termés minőségére, annak tápanyag-tartalmára is. A melléktermékek általában jobban tükrözik a tápanyagviszonyok változásait, mint a főtermék, illetve a generatív szem.

Tekintettel arra, hogy gyorsan helyreáll a dinamikus egyensúly a talajoldatban PK trágyázás után, ezért - mint azt a fiziológiai kísérletek bizonyítják - még igen nagy adagnál sem figyelhetünk meg közvetlen termésdepressziót, amelyet a talajoldat magas PK koncentrációjára vezethetnénk vissza.

WICKE (1968) adatai szerint még a könnyű talajon is csak a minimálisan 1200 kg K_2O ha^{-1} és e feletti adagoknál következett be statisztikailag igazolható terméscsökkenés. Terméscsökkenéshez vezethet azonban a K-mal együtt bevitt Cl, illetve az egyoldalú PK túltrágyázás következtében előálló ionantagonizmus és szinergizmus. Megváltozhat számos elem (N, Ca, Mg, Zn, Mn, Mo stb.) felvétele a növényben és nemcsak a növekvő PK adagok gazdaságossága eshet vissza, hanem a termés mennyisége és minősége is. Közvetetten a talaj elsavanyodása útján is megváltoztathatja a PK trágyázás a mikroelem-felvételt. Az intenzív, tartós, illetve nagyadagú PK trágyázás káros mellékhatásai meszezéssel, kiegészítő makro-és mikroelem trágyázással megszüntethetők.

Tápelem-forgalmi vizsgálatok

1. Országos tápanyag-mérlegekben

1.1. Magyarország NPK elemforgalma a századforduló óta

A közelmúltig sokan vallották azt a felfogást, hogy a tápanyag-mérleg nem lehet kielégítő alap a műtrágyaigény becsléséhez, hisz figyelmen kívül hagyja a talaj fizikai-, biológiai-, kémiai stb. folyamatait, dinamikáját. A tápanyag-mérlegek felállítása útján informálódhatunk azonban a tábláról, üzemből vagy országos szinten is a termésekkel eltávozó tápanyagok mennyiségéről, melyek jelzik a talaj gazdagságának csökkenését a tápanyagokban és ezzel a talaj termékenységének fenntartásához - a visszapótláshoz - szükséges trágyaigényt is. A tápanyag-mérlegek segítségével tájékozódhatunk egy ország tápanyag-gazdálkodásának helyzetéről, melynek nemzetgazdasági kihatásai is vannak, ezért ismerete és figyelembevétele a céltudatos agrárpolitika fontos része. Ismeretes például, hogy az 1950-es évek derekáig Magyarországon a termésátlagok nem emelkedtek, melynek egyik alapvető oka az erősen mérleghiányos tápanyag-gazdálkodás volt (ZUKKER 1938, FARKAS 1942, GYÖRFFY 1965).

Országos szintű tápanyag- illetve talajerő-mérlegek az elmúlt félszázad folyamán már több-kevesebb rendszerességgel készültek és ma már jelentős hazai (ZUKKER 1938, FARKAS 1942, TÓTH-KUZMIÁK 1949, LÁNG 1960, GYÖRFFY 1965, KÁDÁR 1977B) irodalommal rendelkeznek. Jelentőségük együtt nőtt a műtrágya felhasználás

volumenének növekedésével és különösen fontossá váltak az utóbbi évtizedekben a tervgazdálkodást folytató országokban (COOKE 1958, SZOKOLOV et al. 1963, GISIGER 1964, GERICKE 1967, PETERBURGSZKIJ 1968, CSURKIN 1969, NAJDIN-GULDOVA 1969, PONOMAREVA 1969, MARKOVSKIJ 1971, PETERBURGSZKIJ et al. 1972, ICSINHORLOO-CsulTEMSZUREN 1974, GETMANEC et al. 1976. stb.)

Egy országos tápanyag-mérleg felállításakor tágabb értelemben minden olyan tényezőt számba kell vennünk, melyek a tápanyagforgalom növekedéséhez vagy csökkenéséhez vezetnek. Bevételi források, illetve a növekedés tényezői lehetnek a felhasznált műtrágyák, szerves trágyák, szabadon élő baktériumok és a pillangós növények által megkötött N mennyiségei, a csapadék útján talajba jutó tápanyagok, vetőmag tápanyag-tartalma és a talajból feltáródó tápanyagok (mineralizáció). A csökkenés illetve kiadás tételeihez sorolhatók a növények által kivont tápanyagok mennyiségei, kimosódás és denitrifikáció, párolgás útján előálló veszteségek, valamint a talajokban végbemenő leköltődés (fixáció).

Kétségtelen azonban, hogy döntő bevételi forrás a trágyázás, ellentéte pedig a termékkel kivont tápanyag. Az egyéb tételek részben ellensúlyozzák egymást, részben pedig elhanyagolhatók. Ehhez járul még, hogy számbavételükhöz gyakran nem rendelkezünk elegendő megbízható adattal. Számításaink során feltettük, hogy a légköri N-ből származó, csapadékkal a talajba jutó és a szabadon élő nitrogéngyűjtő baktériumok által megkötött többletek és a párolgás, denitrifikáció, illetve a kimosódásból előálló veszteségek megközelítően azonos nagyságrendűek és kiegyenlítik egymást. Hasonlóképpen a P és K kimosódásával országos szinten előálló veszteségek és a vetőmaggal a talajba jutó bevételek az össz-tápanyag forgalomnak mindössze néhány, vagy néhány tized %-át jelentik és részben kiegyenlítik egymást, ezért ezeket a tényezőket is elhanyagoltuk.

A talajból származó, ásványosodás útján feltáródó tápanyagokkal a mérlegben nem számoltunk, hisz hiányos mérleg esetén éppen a hiányt fedezik. A mérleg felállításának célja gyakran a hiány (talajzsarolás vagy rablógazdálkodás) mértékének megállapítása. Nem vettük figyelembe a tápanyag-megkötődést sem. A mérlegen túl adagolt tápanyagok a talajt gazdagítják, növelik annak nemcsak összes, hanem felvehető tápanyag-tartalmát is, melyek talajvizsgálatokkal (PK) jól követhetők. A pillangós növényeknek mint N forrásoknak a szerepe jelentős, hisz a múlt század elején döntően járultak hozzá a terméshozamok megduplázásához Nyugat-Európában PRJANISNYIKOV (1945) szerint.

Elhanyagolásuk tehát komoly hibát is okozhat. Jelentőségük azonban fokozatosan csökkent. Mint azt a közismerten nagyszámú szabadföldi kísérlet tanúsítja, a pillangósok N szükségletüket akkor fedezik a levegőből, ha kevés a talaj ásványi N-tartalma. A N műtrágyázás színvonalának növekedésével tehát a pillangósok egyre inkább N fogyasztóként lépnek fel és ezzel a N mérleget egyre kevésbé módosítják, ezért munkánkban mint N fogyasztókat vettük figyelembe.

Hasonló módszerrel legutóbb GYÓRFFY (1965) állított fel országos tápanyag-mérleget az 1960-64. évekre. Az azóta eltelt időszak jelentős változást hozott az ország tápanyag-gazdálkodásában, ezért megkíséreltük az 1971. és 1975. évekre egy országos NPK mérleg felállítását. A műtrágya felhasználás dinamikus növekedése miatt a mérleg gyorsuló ütemben változik, egyre pozitívabbá válik, ezért csökken annak jelentősége, hogy

A búza termésátlagainak alakulása Hollandiában, Belgiumban és Németországban a II. világháború előtt (Szem, t·ha⁻¹, PRJANISNYIKOV 1945)

Gazdálkodás típusai	Hollandia	Belgium	Németország
Háromnyomásos gazdálkodás a XVIII.század közepéig	0,7	0,7	0,7
Vetésváltás pillangósokkal	1,55	1,50	1,30
1840-1870	1,77	1,53	1,40
1870-1880			
Műtrágyázás kezdetei			
1891-1900	1,94	1,93	1,74
1909-1913	2,25	2,53	2,27
1923-1930	2,98	2,55	1,99
1936-1938	3,18	2,85	2,43

több év átlagával dolgozzunk. A tápanyag-mérleg pillanatnyi helyzete, a kapott információ tájékoztató jellegű és inkább a változások tendenciáinak áttekintéséhez szükséges, így a legutóbbi évre felállított mérleg tekinthető leginkább előremutatónak.

A termékekkel felvett tápanyagok megítélése során igyekeztünk minden fontosabb növényfajt külön-külön számba venni. Bár az átlagos NPK tartalom eltérhet a ténylegestől, nagyobbak vagy kisebbek lehetnek egy-egy növény esetében, azonban országosan és nagyobb számú kultúra mellett ezek a különbségek bizonyos fokig kiegyenlítődnek.

A termésadatokat, valamint a műtrágya-felhasználás, istállótrágya-termelés adatait a statisztikai évkönyvből (KSH 1972, 1976), az egységnyi főterméssel és a hozzá tartozó melléktermékekkel kivont NPK tartalmakat pedig irodalmi adatok alapján vettük, illetve becslöttük (6,7,8. táblázat). Tekintettel arra, hogy számos kultúra esetén egyáltalán nincs, vagy igen kevés a hazai adat, így a külföldi irodalmi forrásokat is felhasználtam.

Ismert biokémiai törvényszerűség, hogy a növények tápanyag %-ai északnyugatról délkelet felé nőnek, míg a termések általában csökkennek. Magyarország az átmenetet képviseli Európában. A leginkább hozzáférhető és leggazdagabb irodalmi forrásokat ugyanakkor a tőlünk északnyugatra elhelyezkedő (hűvösebb, csapadékosabb éghajlattal bíró) német nyelvű országok és a tőlünk keletre fekvő (szárazabb, kontinentálisabb klímaterületeket magában foglaló) Szovjetunió nyújtja. E megfontolások alapján elsősorban a német, orosz és a magyar irodalmi adatokat használtuk fel, illetve átlagoltunk a fajlagos NPK tartalom becslése céljából.

A termés tápanyag-tartalma a növény tápanyagigényét is mutatja hozzávetőlegesen, bár nem azonos azzal, hisz a tenyészidő folyamán fellépő veszteségeket és a gyökér tápanyag-tartalmát figyelmen kívül hagyjuk. A "biológiai" tápanyagigény tehát ennél nagyobb. A tápanyagigény ugyanakkor az illető növény trágyaigényéről is tájékoztat, melyet egyéb tényezők - elsősorban a talaj tápanyag-tartalmának - ismeretében módosítunk. Tápanyagokkal jól ellátott talajokon általában megelégszünk a terméssel kivont NPK többé-kevésbé egyszerű visszapótlásával (fenntartó trágyázás), míg rosszul ellátott talajokon talajgazdagító trágyázást is javasolunk (KOPETZ 1958, KÁDÁR 1975, POSZTNIKOV 1976, SARKADI és KÁDÁR 1974, SZOKOLOV 1976. stb.).

Példaképpen bemutatjuk az őszi búza (6. táblázat) és a kukorica (7. táblázat) fajlagos NPK-tartalmát különböző irodalmi források alapján a N tartalom szerint rendezve.

6. táblázat. Az őszi búza fajlagos NPK tartalma különböző irodalmi források alapján, a N tartalom szerint rendezve (1 t szem és a hozzá tartozó szalma, pelyva melléktermékkel) *

Sorszám	Mellék-/ Főtermés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Irodalmi forrás (év)
		kg-ban			
1	-	21	10	14	<i>Ballenegger (1936)</i>
2	1,5	22	12	19	<i>Farkas (1942)</i>
3	1,4	23	13	19	<i>Richtzahlen (1956)</i>
4	1,5	24	11	15	<i>di Gléria (1954)</i>
5	1,9	24	11	22	<i>Nostiz (in: Selke 1965)</i>
6	1,8	25	13	22	<i>Handbuch (1965)</i>
7	1,7	25	9	18	<i>Sarkadi (1969)</i>
8	1,5	26	12	18	<i>di Gléria (1964)</i>
9	1,5	27	11	18	<i>Hajas-Rázsó (1962)</i>
10	2,0	27	10	20	<i>Sarkadi (1975)</i>
11	1,5	27	11	18	<i>Dworák (1943)</i>
12	1,5	27	11	18	<i>Láng (1960)</i>
13	1,4	27	13	18	<i>Á.G. útmutató (1964)</i>
14	-	28	10	17	<i>Selke (1965)</i>
15	-	28	13	22	<i>Jacob (1949)</i>
16	1,6	28	5	18	<i>Bergmann (1965)</i>
17	1,8	28	14	22	<i>Davidescu (1959)</i>
18	1,5	28	11	15	<i>Cserháti és Kosutány (1887)</i>
19	1,5	28	14	20	<i>Kiss (1967)</i>
20	1,5	29	11	18	<i>Kalender (1914)</i>
21	1,7	29	12	25	<i>Richtzahlen (1957)</i>
22	-	30-35	10-13	20-30	<i>Szpravocsnik (1964)</i>
23	-	30-34	12	24-25	<i>Zsezsel-Panteleeva (1966)</i>
24	1,4	30	11	16	<i>Kádár et al. (1976)</i>
25	-	30	12	22	<i>di Gléria (1964)</i>
26	-	30	10	20	<i>Szpravocsnik (1964)</i>
27	2,1	31	12	24	<i>Müller (1926)</i>
28	-	31-42	10-17	15-35	<i>Szpravocsnik (1964)</i>
29	-	32	13	21	<i>Fekete (1952)</i>
30	-	35	10-14	24-33	<i>Peterburgszkij (1967)</i>
31	1,5	35	14	31	<i>Tisdale és Nelson (1966)</i>
32	2,0	37	13	23	<i>Szpravocsnik (1960)</i>
33	2,0	37	13	23	<i>Artjusin (1967)</i>
34	-	37	13	23	<i>Almássy et al. (1968)</i>
35	-	42	17	34	<i>Szpravocsnik (1960)</i>
36	2,4	42	14	28	<i>Sesztakov (1954)</i>

*Ahol külön a szem és külön a szalma NPK tartalma volt megadva, ott 1,5 melléktermék/főtermék aránnyal számoltunk

Amint e táblázatokból kiténik, az alapadatok szórása igen jelentős, hisz többszörös különbségek is előfordulnak. Hasonló a helyzet a többi kultúra esetén is. A 8. táblázatban az egyes növényfajoknál talált minimális és maximális értékeket, valamint az általunk becsült átlagos fajlagos NPK tartalmakat tüntettük fel. A növény tápanyag-tartalmát a klimatikus tényezőkön kívül természetesen egyéb tényezők is befolyásolják.

7. táblázat. Az kukorica fajlagos NPK tartalma különböző irodalmi források alapján, a N tartalom szerint rendezve. (1 t szem és a hozzá tartozó szár melléktermékkel) *

Sorszám	Mellék-/ Főtermés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Irodalmi forrás (év)
		kg-ban			
1	-	12	8-9	12	<i>Szpravocsnik (1960)</i>
2	-	20-22	8-9	15-18	<i>Krámer et al. (1977)</i>
3	-	20-25	8-10	16-20	<i>Sarkadi (1969)</i>
4	1,4	21	8	21	<i>Tisdale és Nelson (19669)</i>
5	-	23	11	39	<i>Ballenegger (1936)</i>
6	1,5	23	11	28	<i>Cserhádi és Kosutány (1887)</i>
7	-	24	11	40	<i>Selke (1965)</i>
8	-	24	11	30	<i>Jacob (1949)</i>
9	-	24	7	33	<i>Peterburgszkij (1967)</i>
10	1,5	24	13	23	<i>Farkas (1942)</i>
11	1,7	25	11	27	<i>Richtzahlen (1957)</i>
12	1,6	25	11	28	<i>Richtzahlen (1956)</i>
13	1,8	25	5	26	<i>Bergmann (1965)</i>
14	1,8	26	10	26	<i>Selke (1965)</i>
15	-	26-30	9-10	29-30	<i>Klecskovszkij és Peterburgszkij (1964)</i>
16	-	26	10	27	<i>di Gléria (1964)</i>
17	1,5	27	10	28	<i>Kalender (1914)</i>
18	1,5	27	10	28	<i>Handbuch (1965)</i>
19	1,5	28	9	11	<i>Láng (1960)</i>
20	-	27	11	25	<i>Selke (1965)</i>
21	1,5	28	12	29	<i>di Gléria (1954)</i>
22	1,5	29	18	28	<i>Á.G. útmutató (1954)</i>
23	1,5	29	10	29	<i>Kiss (1967)</i>
24	1,7	29	11	32	<i>Handbuch (1965)</i>
25	-	30	8	23	<i>Szpravocsnik (1961)</i>
26	-	30	10-12	25-30	<i>Szpravocsnik (1964)</i>
27	1,5	30	18	28	<i>Dworak (1943)</i>
28	1,5	31	10	28	<i>di Gléria (1964)</i>
29	2,0	31	12	36	<i>Handbuch (1965)</i>
30	2,0	34	12	37	<i>Szpravocsnik (1961)</i>
31	2,0	34	12	37	<i>Artjusin (1967)</i>
32	-	34	12	37	<i>Almássy et al. (1968)</i>
33	2,5	43	16	50	<i>Davidescu (1959)</i>

*Ahol a szem és a szár NPK tartalma külön volt megadva, ott 1,5 melléktermék/főtermék aránnyal számoltunk

8. táblázat. A terméssel kivont fajlagos NPK tartalom alakulása különböző kultúráknál, kg-ban
(1 t főtermés a hozzá tartozó melléktermékkel)

Sor- szám	Kultúra	Forrásmunkák száma	N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
			min-max.	becsült	min-max.	becsült	min-max.	becsült
1.	Búza	36	21-42	30	5-17	12	14-35	21
2.	Rozs	30	18-44	27	6-22	13	16-47	26
3.	Rizs	14	17-37	23	6-22	12	12-37	18
4.	Árpa	26	18-34	26	4-11	11	12-31	23
5.	Zab	32	19-34	28	4-17	12	6-45	27
6.	Kukorica	33	12-43	27	5-18	11	11-50	29
7.	Hüvelyesek*	29	47-88	60	7-22	16	16-52	31
8.	Cukorrépa	35	25-65	43	6-21	15	38-107	56
9.	Rostkender és -len	14	5-30	12	2-20	5	3-60	10
10.	Dohány	9	34-84	59	9-25	20	39-127	89
11.	Olajosnövények**	24	38-63	50	6-41	24	23-278	72
12.	Burgonya	31	40-89	52	8-48	20	49-164	90
13.	Zöldségfélék***	44	24-123	35	4-50	16	9-134	53
14.	Silókukorica, csalamádé	23	12-62	27	4-30	12	16-60	35
15.	Takarmányrépa	16	20-100	34	3-35	11	29-145	56
16.	Egynyári szénák	12	8-42	24	3-12	6	13-71	17
17.	Évelő szénák	39	20-34	26	2-11	7	12-55	20
18.	Réti széna	23	7-26	16	2-10	6	3-39	18
19.	Legelő széna	15	6-40	22	1-10	6	3-42	22
20.	Szőlő	8	50-100	56	14-56	26	42-195	83
21.	Gyümölcs	3	50-100	73	20-60	39	50-150	96

* Borsó, bab; ** Napraforgó, repce, olajlen, mák *** Káposzta, hagyma, borsó, paradicsom, paprika
Megjegyzés: A 8, 12, 13, 14, 20, 21 sorszám alatti kultúráknál 100 q fő - + melléktermékre megadva

Hazai viszonyaink között az őszi búzát és a kukoricát kiemelt pontossággal kell becsülni, hisz mind a művelt terület, mind az összes terméssel kivont NPK tartalomnak több mint a felét teszik ki. Saját vizsgálataink szerint jól kimutatható volt a trágyázás, a termésszint és a fajta hatása a kukorica, valamint az őszi búza tápanyag-tartalmára (KRÁMER et al. 1978, KÁDÁR et al. 1976, KÁDÁR - ELEK - ZILAHY 1976).

Az intenzívebb trágyázás és az új fajták magasabb szemtermést eredményeznek, így szűkül a melléktermés/főtermés aránya, amely alapvetően járul hozzá a fajlagos NPK tartalom csökkenéséhez. A melléktermés/főtermés arányának, valamint a fajlagos tápanyagtartalomnak ilyen irányú összefüggésére a táblázatok adatai is utalnak. Nagyszámú analízis eredményei alapján hasonló következtetésekre jutott SARKADI (1969) is. Nem fogadható el azonban az a nézet, mely szerint a terméssel felvett tápanyagok megítélésénél a pontosságra való törekvés vesztett jelentőségéből, hisz egyre több műtrágyával rendelkezünk. Nő ugyanis a termések szintje és ezzel együtt a becsléssel elkövethető hiba nagysága is. Egy adott helyen, évben, fajtánál stb. nyert értékek jelentősen eltérhetnek egymástól. Így pl. a variációs koefficiens (CV%) a 7. táblázatban közölt kukorica fajlagos tápanyag-tartalma esetén $N=17$, $P_2O_5=23$, $K_2O=15$ volt. A legnagyobb különbségeket a minimális és a maximális adatok között is a P esetén találjuk (8. táblázat). A nemzetközi irodalmi forrásokra támaszkodva azonban a szélsőséges értékek könnyen kiszűrhetők, és viszonylag stabil átlagok képezhetők, melyekkel mint irányszámokkal biztonságosabban dolgozhatunk.

A különféle növényekkel felvett tápanyagmennyiségek alakulását mezőgazdaságilag hasznosított területre 1971. és 1975. években a 9. táblázat mutatja. Számításaink szerint 1971-ben mintegy 441 ezer tonna N, 165 ezer tonna P_2O_5 és 420 ezer tonna K_2O növényi tápanyag-vesztéssel számolhattunk, míg 1975-re ez a tápanyagmennyiség megközelítően 20-25 %-kal tovább emelkedett. A búza + kukorica által felvett NPK összege mindkét évben eléri, vagy meghaladja az 55 %-ot, tehát az összes felvett tápanyagok több mint felét.

A tápanyag-vesztéségek becslése után rátérhetünk a különféle trágyákkal talajba vissza-juttatott tápanyagok számbavételére. Az istállótrágya átlagos beltartalmát 0,5 N; 0,25 P_2O_5 ; 0,6 K_2O % értékkel vesszük figyelembe. Tekintve, hogy a legtöbb szerző, valamint a hazai szabadföldi kísérletek tanulságai szerint az istállótrágya N-tartalma csak kb. 50 %-ban érvényesül a műtrágya N-tartalmához viszonyítva (SARKADI 1974, SARKADI és BÁNÓ 1968, BALLÁNÉ 1958, 1962, 1963, KRÁMER 1967), ezért a mérlegben 0.25 % műtrágyaértékű N tartalommal számoltunk.

A modern, alom nélküli állattartás a gazdaságok szalmaszükségletét a minimumra csökkenti, a kukoricaszár mint takarmány pedig az intenzív állattartásban már nem játszik jelentős szerepet. A kombájnnal betakarítás után gyakran a szalma, de különösen a kukoricaszár a táblán marad. E megfontolások alapján a kukoricaszárát mint tápanyagforrást vettem figyelembe. Tekintve, hogy a kukorica 27-10-28 kg NPK fajlagos tápanyag-tartalmából mintegy 19-6-4 a szem és 8-4-24 kg NPK a hozzá tartozó melléktermékre esik, ez utóbbi mennyiségeket a "visszapótlás kukoricaszárral" rovatban tüntettem fel. Amint a 10. táblázatból megállapítható, a kukoricaszárral visszapótlott tápanyagok nagyságrendileg az istállótrágya tápanyagaival azonosak, különösen ami az 1975. évet illeti.

A terméssel kivont és a különböző trágyák útján a talajba juttatott tápanyagok szembeállítását útján kapott mérleg arról tanúskodik, hogy mindkét vizsgált évben az ország tápanyag-gazdálkodása jelentős pozitívummal zárult. A többlet ha-onként PK esetén mintegy 20-25 kg, N esetén pedig 7 kg 1971-ben, míg 1975-re ezek a többletek közel megduplázódtak. Magyarország tehát elérkezett oda, hogy a tápanyag-mérlegeiben a "hiány" helyett "többlet"-ről beszélhettünk. Tulajdonképpen ez az a háttér, amelynek alapján valóban állíthatjuk, hogy az intenzív mezőgazdasági termelés birtokában vagyunk, hisz ez a megállapítás a tápanyag-gazdálkodás terén is megalapozott.

9.táblázat

A különféle növényekkel felvett tápanyagmennyiségek alakulása 1971. és 1975. években
(Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Sor- sz.	Kultúra	Főtermés, 1000 t		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		1971	1975	kg·t ⁻¹ -ban			1000 t-ban 1971-ben			1000 t-ban 1975-ben		
1.	Búza	3922	4007	30	12	21	117,7	47,1	82,4	120,2	48,1	84,2
2.	Rozs	182	147	27	13	26	4,9	2,4	4,7	4,0	1,9	3,8
3.	Rizs	67	69	23	12	18	1,5	0,8	1,2	1,6	0,8	1,2
4.	Árpa	785	701	26	11	23	20,4	8,6	18,1	18,2	7,7	16,1
5.	Zab	91	92	28	12	27	2,5	1,1	2,5	2,6	1,1	2,5
6.	Kukorica	4732	7172	27	10	28	127,8	47,3	132,5	193,6	71,7	200,8
7.	Hüvelyesek	121	131	60	16	31	7,3	1,9	3,8	7,9	2,1	4,1
8.	Cukorrépa	2023	4089	43	15	56	8,7	3,3	11,3	17,6	6,1	22,9
9.	Rostkender és -len	131	79	12	5	10	1,6	0,7	1,3	0,9	0,4	0,8
10.	Dohány	16	17	59	20	89	0,9	0,3	1,4	1,0	0,3	1,5
11.	Olajosnövények	263	244	50	24	72	13,2	6,3	18,9	12,2	5,9	17,6
12.	Burgonya	1797	1630	52	20	90	9,3	3,6	16,2	8,5	3,3	14,7
13.	Zöldségfélék	1682	1632	35	16	53	5,9	2,7	8,9	5,7	2,6	8,6
14.	Silókuk., csalamádé	4246	5503	27	12	35	11,5	5,1	14,9	14,9	6,6	19,3
15.	Takarmányrépa	1116	842	34	11	56	3,8	1,2	6,2	2,9	0,9	4,7
16.	Egynyári szénák	261	230	24	6	17	6,3	1,6	4,4	5,5	1,4	3,9
17.	Évelő szénák	2085	2898	26	7	20	54,2	14,6	41,7	75,3	20,3	58,0
18.	Réti széna	562	546	16	6	18	9,0	3,4	10,1	8,7	3,3	9,8
19.	Legelő széna	981	1076	22	6	22	21,6	5,9	21,6	23,7	6,5	23,7
20.	Szőlő	745	813	56	26	83	4,2	1,9	6,2	4,6	2,1	6,7
21.	Gyümölcs	1231	1355	73	39	96	90	4,8	11,8	9,9	5,3	13,0
Összesen		-	-	-	-	-	441,3	164,6	420,1	539,5	198,4	517,9

10. táblázat

Magyarország tápanyag-mérlege az 1971. és 1975. években
(Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Mérleg tételei	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
	1000 t-ban (1971)				1000 t-ban (1975)			
Terméssel felvett	441,3	164,6	420,1	1026,0	539,5	198,4	517,9	1255,8
Visszapótolt								
istállótrágyával	58,3	58,3	139,9	256,5	58,3	58,3	139,9	256,5
kukoricaszárral	37,9	18,9	113,6	170,4	57,4	28,7	172,1	258,2
műtrágyákkal	393,5	250,9	309,2	953,6	535,8	429,3	553,1	1518,3
összesen	489,7	328,1	562,7	1380,5	651,5	516,3	865,1	2033,0
Egyenleg	48,4	163,5	142,6	354,5	112,0	317,9	347,2	777,2
	kg·ha ⁻¹ -ban (1971)				kg·ha ⁻¹ -ban (1975)			
Terméssel felvett	64,4	24,0	61,3	149,7	79,7	29,3	76,5	185,5
Visszapótolt								
istállótrágyával	8,5	8,5	20,4	37,4	8,6	8,6	20,7	37,9
kukoricaszárral	5,5	2,8	16,6	24,9	8,5	4,2	25,4	38,1
műtrágyákkal	57,4	36,6	45,1	139,1	79,1	63,4	81,7	224,2
összesen	71,4	47,9	82,1	201,4	96,2	76,2	127,8	300,2
Egyenleg	7,0	23,9	20,8	51,7	16,5	46,9	51,3	114,4
Egyenleg intenzitása	111	200	134	134	121	260	167	162
*Egyenleg	1,5	21,1	4,2	26,8	8,0	42,7	25,9	76,6
* Egyenleg intenzitása	102	188	107	118	110	246	134	141

* Kukoricaszár nélkül

A változás igen jelentős volt az elmúlt évtizedekben. Lássuk ehhez GYÓRFFY (1965) 1960-64. évek átlagára felállított tápanyag-mérlegét, melyet a 11. táblázat tüntet fel. E mérlegben a kukoricaszár nem szerepel tápanyagforrásként, azonban az akkori viszonyokat figyelembe véve ez nem is látszik indokoltnak. A táblázat adatai arra utalnak, hogy bár a termések, illetve a termésrel kivont NPK mennyiségei mintegy 25-30 %-kal alacsonyabbak az 1971. évinél, a mérleg mégis jelentős hiánnyal zárul N és K esetén és P-nál is éppen hogy egyensúlyban van. Az istállótrágyával bevitt tápanyagok mennyisége alig változott, míg a műtrágyával több mint 3-szor annyi nitrogént, foszfort és 6-szor annyi káliumot juttattunk a talajba 1971-ben, mint 1960-64-ben.

11. táblázat Magyarország tápanyag-mérlege az 1960-64. években GYÓRFFY (1965) szerint (Mezőgazdaságilag hasznosított terület)

Mérleg tételei	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
		<u>1000 t-ban</u>		
Terméssel kivont	330,1	128,7	334,3	793,1
Visszapótlás				
istállótrágyával	51,2	51,2	122,9	225,3
műtrágyával	109,8	82,0	47,7	239,5
Összesen	161,0	133,2	170,6	464,8
Egyenleg	-169,1	4,5	-163,7	-328,3
		<u>kg/ha-ban</u>		
Terméssel kivont	46,9	18,3	47,5	112,7
Visszapótlás				
istállótrágyával	7,3	7,3	17,5	32,0
műtrágyával	15,6	11,6	6,8	34,0
Összesen	22,9	18,9	24,3	66,0
Egyenleg	-24,0	0,6	-23,2	-46,7
Egyenleg intenzitása, %	48,8	103,3	51,2	58,6

Az 1930-as évekre ZUKKER (1938) és FARKAS (1942) állított fel országos mérlegeket. Tekintve, hogy ezek a mérlegek más elvi alapokra és irányszámokra épülnek, mint az általunk bemutatott korábbi tápanyag-mérlegek, ezért az 1932-36. évekre is saját becsléseinket mutatjuk be a 12. táblázatban. A századforduló óta sem a termésátlagaink, sem az istállótrágya-termelés, illetve műtrágya felhasználás lényegesen nem változott, ezért az 1930-as évekre kapott becslés eredményeit az azt megelőző évtizedekre is elfogadhatónak tekinthetjük.

A 12. táblázat adataiból kitűnik, hogy a II. világháború előtti évtizedekben tápanyag-gazdálkodásunk jelentős hiánnyal zárult mind a három tápanyag tekintetében. A P és K mintegy felét, míg a N több mint 80 %-át nem pótoltuk vissza évenként. A pillangósok vetésterületük alapján nem képesek a N mérleget lényegesen módosítani. Ha N-forrásként vesszük figyelembe őket - feltételezzük, hogy évenként és ha-onként mintegy 50 kg N-t hagynak maguk után a talajban - akkor kb. azonos nagyságrendű

bevételi forrásról beszélhetünk, mint az istállótrágya N-tartalma. A visszapótlás tehát így is csak 30 % körül alakul.

12. táblázat. Magyarország tápanyag-mérlege az 1932-36. évben

(Mezőgazdaságilag hasznosított terület)				
Mérleg tételei	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
	<u>1000 t-ban</u>			
Terméssel kivont	299,3	111,4	286,1	696,8
Visszapótlás				
istállótrágyával	50,0	50,0	120,0	220,0
műtrágyával	1,0	5,8	0,3	7,1
Összesen	51,0	55,8	120,3	227,1
Egyenleg	-248,3	-55,6	-165,8	-469,7
	<u>kg/ha-ban</u>			
Terméssel kivont	39,6	14,7	37,8	92,1
Visszapótlás				
istállótrágyával	6,6	6,6	15,9	29,1
műtrágyával	0,1	0,8	0,0	0,9
Összesen	6,7	7,4	15,9	30,0
Egyenleg	-32,8	-7,3	-21,9	-62,1
Visszapótlás intenzitása	16,9	50,3	42,1	32,6

Magyarország tápanyag-gazdálkodásának alakulását a XX. század eleje óta eltelt időszak függvényében a 13. táblázatban tekintjük át. A termékek dinamikus növekedése a 60-as évektől kezdődik, napjainkig a kivont tápanyagok mennyisége mintegy megduplázódott az 1930-as évekhez viszonyítva. Az istállótrágya-termelés lényegesen nem változott, becsléseink szerint a visszapótlott tápanyagok megközelítően 1/3-dal növekedtek az elmúlt évtizedekhez képest.

A termésátlagok emelkedése egyértelműen a műtrágyázás emelkedésével mutat összefüggést, amely szintén a 60-as évek elejével számottevő. A növekedés a 30-as évek átlagához viszonyítva mintegy 250-szeres a műtrágya-felhasználásban, ennek eredményeképpen a korábbi évenkénti és ha-onkénti mintegy 60 kg körüli összes hatóanyag-hiány helyébe több mint 110 kg-os többlet lépett 1975-ben. A visszapótlás intenzitása 33 %-ról 162 %-ra emelkedett ugyanazon idő alatt.

A tápanyagtöbbletek ténye jelzi, hogy az intenzívebb műtrágyázás bevezetése óta egyre kevésbé vagyunk a talaj természetes tápanyag-szolgáltató képességére utalva, különösen a P esetén, ahol a 200-250 %-os többlettel évente mintegy 40 kg körüli P₂O₅ ha⁻¹ mennyiséggel gyarapodik talajaink P tartalma. A műtrágyahatásokat befolyásoló tényezők egymáshoz viszonyított súlya is módosul, hisz a talajtípus szerepét egyre inkább a megelőző műtrágyahasználat (utóhatás) befolyásolja alapvetően.

A hosszú mérleghiányos tápanyag-gazdálkodásunk tehát a múlté. Ellenkező folyamat indult meg talajainkban, éspedig az évezredek tápanyaghiányt, talajzsarolást, rablógazdálkodást felváltotta a talajgazdagító trágyázás. Ez a körülmény új szemléletet,

megközelítést, új típusú kísérletek beállítását teszi szükségessé a tápanyagkutatásban. Szabadföldi trágyázási kísérleteink egy részénél is bizonyos átalakítás célszerűnek látszik. Tartamkísérletekben ugyanis alapvetően fontos maga az az állapot, amely a parcellák talajában az eltérő trágyázás hatására előáll. Ez utóbbiról - az évenkénti kezeléshatások regisztrálásán túlmenően - számos eredeti információ nyerhető a kísérlet átépítésével, amely lehetővé teszi a különböző tápanyag-állapotú, illetve múltú talajokon a tápanyag-ellátottság és a műtrágyázás hatékonysága közötti egzakt összefüggések vizsgálatát, a talajvizsgálatokra alapított, modern műtrágyázási szaktanácsadás elvi alapjainak továbbfejlesztését.

13. táblázat Magyarország tápanyag-gazdálkodásának alakulása az 1930-as évektől (illetve a XX. század elejétől) napjainkig (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg/ha)

Időszak	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen	%
Termésekkel felvett					
1932-36. között	39,6	14,7	37,8	92,1	100
1960-64. között	46,9	18,3	47,5	112,7	122
1971-ben	64,4	24,0	61,3	149,7	162
1975-ben	79,7	29,3	76,5	185,5	201
Visszapótlás istállótrágyával					
1932-36. között	6,6	6,6	15,9	29,1	100
1960-64. között	7,3	7,3	17,5	32,0	110
1971-ben	8,5	8,5	20,4	37,4	128
1975-ben	8,6	8,6	20,7	37,9	130
Visszapótlás kukoricaszárral					
1971-ben	5,5	2,8	16,6	24,9	100
1975-ben	8,5	4,2	25,4	38,1	153
Visszapótlás műtrágyákkal					
1932-36. között	0,1	0,8	0,0	0,9	100
1960-64. között	15,6	11,6	6,8	34,0	3,777
1971-ben	57,4	36,6	45,1	139,1	15,456
1975-ben	79,1	63,4	81,7	224,2	24,911
Visszapótlás összesen					
1932-36. között	6,7	7,4	15,9	30,0	100
1960-64. között	22,9	18,9	24,3	66,0	220
1971-ben	71,4	47,9	82,1	201,4	671
1975-ben	96,2	76,2	127,8	300,2	1,001
Egyenleg					
1932-36. között	-32,9	-7,3	-21,9	-62,1	33*
1960-64. között	-24,0	0,6	-23,2	-46,7	59*
1971-ben	7,0	23,9	20,8	51,7	134*
1975-ben	16,5	46,9	51,3	114,4	162*

* A visszapótlás illetve az egyenleg intenzitása jelzi, hogy a terméssel felvett tápanyagok hány %-át pótoltuk vissza trágyázással.

1.2. A műtrágyaigényt befolyásoló tényezőkről

Az előbbi fejezetben elmondottak alapján megállapíthatjuk, hogy Magyarország tápanyag-mérlegében jelentkező pozitívum az intenzív műtrágya felhasználással kapcsolatos. Mármost hogyan illeszkedik további szemléletünkbe napjaink trágyázási gyakorlata? Liebig óta az agrokémia a természettel kivont tápanyagok visszapótlását - általában nem teljes visszapótlását - tekintette célnak. Ma már azonban országosan mintegy 40-50 kg P₂O₅ illetve K₂O marad vissza hektáronként a talajban. Mi történik a fel nem használt tápanyagokkal? Hol jelentkeznek az utóhatások, amelyek közismerten az egyenes hatásokkal azonos nagyságrendűek lehetnek? Talán hasznosítatlanul elvesznek?

Valóban évente újra megadjuk nemcsak a tervezett termés tápanyagszükségletét, hanem bizonyos többletet is. A növekvő termésekhez ugyanis nem elegendő a kivont tápanyagok egyszerű visszapótlására szorítkozni, hanem a talaj termékenységének, tápanyag-ellátottsági szintjének bővített újratermelése is szükséges és itt jelentkeznek az utóhatások, mégpedig gazdaságos formában. A növények által fel nem vett tápelemek (PK) a talajban akumulálódnak, növelik annak könnyen oldható tápanyag-tartalmát, melyet talajvizsgálatokkal jól kimutathatunk. A mezőgazdaság egységnyi területére eső növekvő holtmunka-ráfordítás (gépek, vegyszerek stb.) csak magas és egyre növekvő termésszinteken térülhetnek meg. A tápanyag-gazdálkodás módja a modern iparszerű termelési rendszerből adódik.

A különböző földművelési rendszerek tápanyag gazdálkodását vizsgálva a korábbi fejezetekben mind történeti (idő), mind földrajzi (tér) értelemben megállapíthatjuk, hogy azok a tápanyag gazdálkodás egy-egy típusát képviselték. A vetésváltó gazdálkodás, illetve az árutermelésre való áttéréssel ugrásszerűen megnőtt tápanyagigény vezetett el a múlt század második felében a műtrágyák alkalmazásához.

A műtrágyák szélesebb körű elterjedését Magyarországon - gazdasági okokon kívül - szemléleti, tudati tényezők is gátolták. Kétségtelen ugyanis, hogy az intenzív műtrágyázás bevezetése más természeti körülmények között történt Észak- és Nyugat-Európában, mint hazánkban. A fennálló különbségeket említve általában arra hívják fel a figyelmet (KREYBIG 1951, KEMENESY 1959, FEKETE 1965), hogy mezőgazdaságunk nem rendelkezik kielégítő mértékben a műtrágyák érvényesüléséhez szükséges előfeltételekkel, melyek Nyugat-Európa mezőgazdaságát jellemzik, mint

- a kedvező csapadékviszonyokkal,
- a gyepváltó vetésforgó tradicionális alkalmazása eredményeképpen létrejött jobb szerkezetű talajokkal,
- valamint a belterjesebb műveléssel, a nagyobb állatsűrűséggel együtt járó intenzív istállótrágya-gazdálkodással, a talajok magasabb szintű humuszgazdálkodásával.

FEKETE (1965), a magyar és az angol mezőgazdaság műtrágyázási szempontú össze hasonlításakor pl. megállapítja, hogy az intenzív műtrágyázás bevezetéséhez "...a mi kiindulási alapunk sokkal rosszabb. A magyar talajok szervesanyag-állapota rendszerint nem kielégítő és szerkezetük leromlott. Hiányzik nálunk a több évszázados gyepváltó vetésforgó. Ezért minden további nélkül nem követhetjük a brit példát. Leromlott talajainkon a vegyes istállótrágyázás és nagyadagú műtrágyás gazdálkodáson keresztül kell eljutnunk a tisztán műtrágyás gazdálkodáshoz."

Az a körülmény azonban, hogy a műtrágyák hatékonyságát befolyásoló némely általános éghajlati-talajtani tényező kedvezőtlenebbül alakul hazánkban, nem jelentette

egyidejűleg műtrágya-szükségletünk, vagy terméskilátásaink korlátozottságát. Műtrágya felhasználásunk ma már eléri Nyugat-Európa színvonalát és a tervek további dinamikus növekedéssel számolnak (LATKOVICSNÉ 1972, GÖR-NAGY 1972). Az elmúlt két évtized alatt sikerült a szárazgazdálkodás körülményei között is főbb kultúrnövényeink termésátlagait megdupláznunk és az európai színvonalhoz felzárkóznunk (búza, kukorica), bár nem változott lényegesen a szervestrágya-gazdálkodásunk, nem hódított tért a gyepváltó vetésforgó, nem változott az ország éghajlata. Amint arra ugyanis mind itthon, mind külföldön többen rámutattak, a talajok termékenységében fellelhető különbözőségek alapvetően nem az éghajlatban, a talajok típusában, szerkezetében vagy humusztartalmában keresendők, hanem azok tápanyagállapotában, amelyet műtrágyákkal befolyásolhatunk (CSERHÁTI és KOSUTÁNY 1987, PRJANISNYIKOV 1945, GYÖRFFY 1964, SARKADI 1975).

Vajon sok műtrágyát használunk-e vagy keveset? Amikor az erre vonatkozó statisztikai adatokat elemezzük, gyakran igen nagy különbségeket találunk az egyes gazdaságok, megyék, esetleg országok között, melyet a terméseredmények nem indokolnak. Ez a körülmény megnehezíti a műtrágyázás terén szerzett tapasztalataink hasznosítását. Továbbfejlődésünk ugyanakkor egyre inkább igényli a - különösen nemzetközi téren - felhalmozódó eredmények rendszeres tanulmányozását, hisz pl. a prognosztikai célú országos műtrágyaszükséglet becslésénél nem a közvetlen tapasztalatokra, hanem számos egyéb tényező figyelembevételén túl elsősorban az extrapoláció és az analógia módszerére támaszkodhatunk.

A műtrágyázással kapcsolatos viták mind régen, mind ma alapvetően abból erednek, hogy viszonylag kevésbé ismerjük még az egyes tényezők szerepét, melyek egy tábla, gazdaság, megye, esetleg egy ország műtrágyaigényét befolyásolják. Célszerűnek látszik az eltérő irányú specializációnak, a gazdálkodás mai típusainak szerepét is megvizsgálni a műtrágya felhasználás alakulására.

A hagyományos mezőgazdaságon belüli különbözőségek ugyanis, amint korábban láttuk - pl. a nomád állattenyésztés vagy a hagyományos mediterrán vagy öntözéssel növénytermesztés - nem a gazdálkodás rendszeréből, nem a munkamegosztásból, hanem az eltérő természeti környezetből adódnak és céljuk az önellátás, addig a mai mezőgazdaság földrajzi típusai a specializáció iránya, illetve a gazdálkodás típusa szerint különülnek el egymástól. A modern iparszerű mezőgazdasági termeléssel együtt járó specializáció és munkamegosztás eredménye gyakran a növénytermesztés és az állattenyésztés szétválása, egyoldalú monokultúrás gabonatermesztő vagy koncentrált állattartásra berendezkedett takarmánytermesztő gazdaságok megjelenése, hisz az áruterelés a legnagyobb haszonnal előállítható néhány termék termelésére ösztönöz.

Az említett összefüggések vizsgálatához a szomszédos Ausztria mezőgazdaságának viszonyai kedvező lehetőségeket teremtenek, ahol a "tiszta" állattenyésztő gazdálkodás típusa mellett a "tiszta" növénytermesztő gazdálkodás típusáig az átmenetek is képviselve vannak. E célra 7 körzetet választottunk ki, melyek tápanyag-gazdálkodását a tápanyag-mérlegek módszerében hasonlítottam össze. Forrásul az 1973. évi Osztrák Statisztikai Évkönyv adatai, valamint Ausztria trágyázási szaktanácsadásában általánosan elfogadott alapelvek és irányszámok szolgáltak (FAUSTZAHLENBUCH 1971, JAHRESBERICHT 1973, KÁDÁR 1977, 1977a, 1977b).

A körzetek nagyságáról, a művelési ágak megoszlásáról, a kalászosok és a rét-legelő hozamairól, valamint a műtrágya felhasználásról tájékoztat a 14. táblázat. A hét

kiválasztott körzet Ausztria öt különböző tartományában helyezkedik el, és a kalászosok, illetve a szántó részaránya alapján növekvő sort alkot. Így pl. a kalászosok %-os részaránya a mezőgazdaságilag hasznosított területen 0,4-68,7; a szántóé 5,0-91,5; míg a rét-legelő aránya ennek megfelelően 94,7-4,3 % között változik. Amint a táblázat adataiból kitűnik, az egyéb művelési ágak mint pl. a kert, gyümölcsös, szőlő - a mezőgazdaságilag hasznosított terület néhány vagy néhány tized %-át alkotják, és így elhanyagolhatók.

Tájékoztató jelleggel feltüntettük a kalászosok szem, valamint a rét-legelők széna terméshozamait is. Általában az a tendencia figyelhető meg, hogy a szem és a széna terméshozamai azokban a körzetekben alacsonyabbak - Lienz, Liezen, Eisenstadt - ahol viszonylag nagy a nem művelt és trágyázásban gyakorlatilag nem részesülő alomtermő rétek, közös legelők és alpesi mezők aránya. Ez utóbbiak szénatermését irodalmi források alapján $30 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ mennyiségre becsültük. Ott, ahol a rét-legelő szinte egésze művelt, gondozott és műtrágyázott - Ried im Innkreis, Amstetten - a széna termésátlaga közel 2-2,5-szerese a nem művelt területekének.

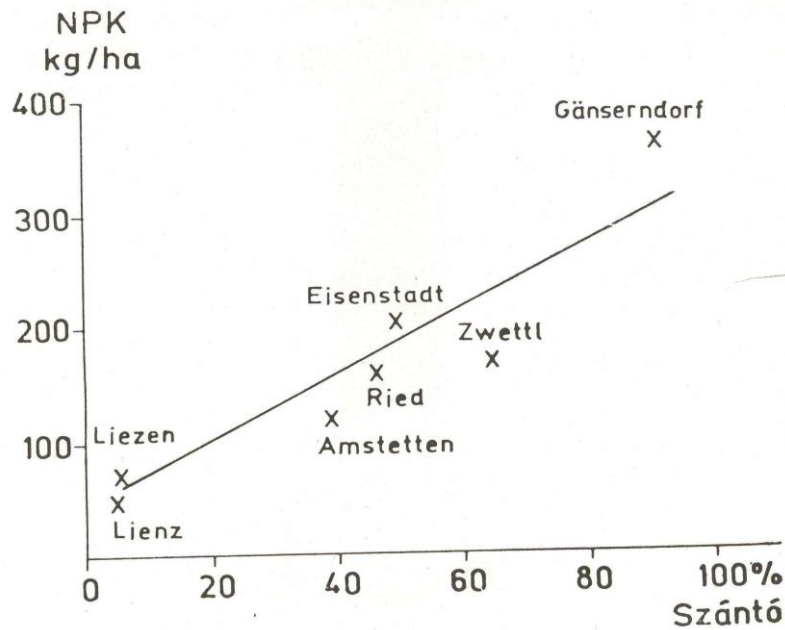
A 14. táblázatban a számosállat-létszám és a szerves trágya termelésének alakulását is feltüntettük. Az istállótrágya mennyiségének megállapításához a statisztikai évkönyvben megadott állatlétszámot számítottuk át számosállatra és a továbbiakban abból indultunk ki, hogy számosállatonként és évenként mintegy 100 q istállótrágya termelődik átlagosan $0,25-0,3-0,6 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ % műtrágyaértékű tápanyagtartalommal (FAUSTZAHLENBUCH 1971).

Tekintve, hogy Ausztriában a trágyalét a gazdák gondosan kezelik és felhasználják, ezért a trágyalével talajba jutó tápanyagokat is megbecsültük. Az évenkénti trágyalé-termelést lónál 2, szarvasmarha, juh és kecskénél 3, sertésnél pedig 4 m^3 /számosállat mennyiségekkel, valamint egységesen $0,2-0,01-0,6 = \text{N-P}_2\text{O}_5\text{-K}_2\text{O}$ % tápanyagtartalommal vettük figyelembe. A terméssel kivont NPK megállapítása során igyekeztünk minden fontosabb növényfaj - körzetenként átlagosan mintegy 20 növény - tápanyaghozamát a statisztikai évkönyv által megadott összetermései, valamint az egységnyi főtermékkel és a hozzá tartozó melléktermékkel kivont átlagos tápanyag-tartalma alapján meghatározni (Faustzahlenbuch 1971).

14. táblázat. Elterő gazdálkodású mezőgazdasági körzetek jellemzése és elemforgalma Ausztriában, 1973

Kiválasztott körzetek jellemzői és elemforgalma	Lienz (Tirol)	Liezen (Stájerország)	Amstetten (Alsó-Ausztria)	Ried-Innkreis (Felső-Ausztria)	Eisenstadt (Burgenland)	Zwettl (Alsó-Ausztria)	Gänserndorf (Alsó-Ausztria)
Mezőgazdasági terület, 1000 ha	79,9	79,5	78,4	43,2	28,8	66,3	93,2
%	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Ebből művelt terület, %	17,2	40,9	94,3	99,6	77,3	98,3	98,1
Ebből kalászos, %	0,4	0,8	22,5	28,7	34,7	39,6	68,7
szántó, %	5,0	5,5	38,9	46,5	49,5	65,2	91,5
rét/legelő, %	11,9	34,2	52,8	50,4	26,7	32,5	2,4
*Rét/legelő összesen, %	94,7	93,3	58,5	50,8	49,4	34,2	4,3
Kalászosok szemtermése, t·ha ⁻¹	2,90	3,16	3,10	3,72	3,39	3,24	3,59
Rét/legelő szénahozama, t·ha ⁻¹	3,35	4,18	6,13	8,73	3,22	5,98	3,74
Műtrágyázás: N kg·ha ⁻¹	17,7	12,1	41,7	62,2	67,6	66,8	114,4
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	15,9	41,6	40,6	45,7	52,9	51,4	94,4
K ₂ O kg·ha ⁻¹	15,8	14,3	38,5	50,7	83,6	50,3	154,5
Összesen:(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O) kg·ha ⁻¹	49,4	68,0	120,8	158,6	204,1	168,5	363,3
Számosállat, 1000 db	23,6	47,9	102,5	75,6	6,0	67,8	24,6
db/ha	0,3	0,6	1,4	1,8	0,2	1,0	0,3
Istállótrágyatermelés t·ha ⁻¹	3,0	6,0	13,6	17,5	2,1	10,2	2,6
Trágyalétermelés t·ha ⁻¹	0,9	1,8	4,1	5,3	0,7	3,1	0,8
Szervestrágyákban: N kg·ha ⁻¹	9,2	18,7	42,2	54,3	6,5	31,8	8,3
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	9,0	18,3	41,2	53,0	6,4	30,9	8,0
K ₂ O kg·ha ⁻¹	23,1	47,1	106,3	136,8	16,6	80,1	21,0
Összesen:(N+P ₂ O ₅ +K ₂ O) kg·ha ⁻¹	41,3	84,1	189,7	244,1	295	142,8	37,3

*A nem gondozott, műtrágyázásban nem részesülő alomtermő rétekekkel, közös legelőkkel, alpesi mezőkkel együtt. A szénahozam 2,7-szerese a döntően művelt, trágyázott felső-ausztriai Ried-Innkreis körzetnek az Eisenstadt nem trágyázott szénahozamához képest



1.ábra

A műtrágya felhasználás és a szántott terület aránya közötti összefüggés az egyes körzetekben (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, 1973)

A 15. táblázatban bemutatott egyenlegek egyes tápanyagok és körzetek esetén jelentős hiányról, míg más körzetekben jelentős többletről tanúskodnak. Ha a terméssel felvett tápanyagok visszapótlását trágyázással %-osan fejezzük ki, a visszapótlás intenzitását kapjuk. Ez utóbbi alapján megállapítható, hogy rablógazdálkodás vagy hiánygazdálkodás két körzetben - Lienz, Liezen NK hiánya - áll fenn, míg a szántó illetve a művelt terület növekedésével a mérleg egyensúlyba kerül, sőt talajgazdagító-feltöltő trágyázás válik uralkodóvá. Az egyenleg intenzitása P esetén általában kétszerese a N intenzitásának. Kivételt Liezen képez, ahol több mint 4-szerese. A kálium a nitrogén és a foszfor között helyezkedik el.

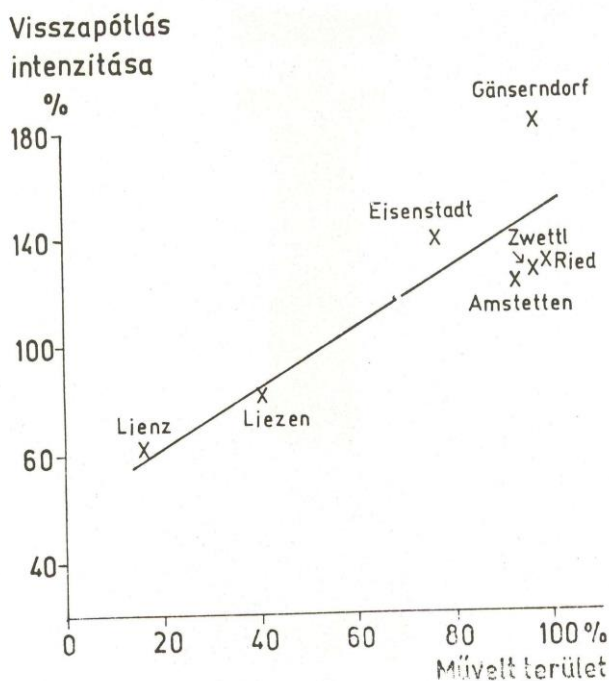
A termékekkel kivont NPK összegei tendencijelleggel, hasonlóan a korábban bemutatott termésátlagokéhoz és a műtrágya felhasználáshoz, nőnek a művelt területtel. Két körzetben azonban a viszonylag alacsony kivont NPK mennyiségeihez (Eisenstadt, Gänserndorf) kiugróan magasabb műtrágya felhasználás járul, mint az a trendből várható lenne. Ez az ellentmondás eltűnik azonban, ha a szervestrágya-gazdálkodás színvonalát is figyelembe vesszük. Ez a két körzet ugyanis mindössze 30-30 kg NPK hatóanyagot (az összesnek 10-13 %-át) pótolja vissza szerves trágyák formájában, míg a többi körzet 45-62 %-ot. Ha az összes trágyákkal adott tápanyagmennyiségeket vizsgáljuk az említett szélsőségek kiegyenlítődnek, a művelt terület arányának növekedésével nő az összes felhasznált NPK mennyisége is. A szervestrágya-gazdálkodás színvonala tehát műtrágyaszükségletet befolyásoló tényező, szerves trágyák a műtrágyák iránti igényt csökkentik.

15.táblázat. Eltérő gazdálkodású mezőgazdasági körzetek jellemzése és elemforgalma Ausztriában, 1973

A mérleg tételei	Lienz	Liezen	Amstetten	Ried/Innkreis	Eisenstadt	Zwettl	Gänsersdorf
Terméssel felvett							
N	55,1	67,8	97,8	125,3	70,8	95,5	99,9
P ₂ O ₅	24,3	29,8	41,9	53,5	28,9	40,8	41,3
K ₂ O	70,0	86,1	111,3	138,2	69,3	107,3	80,3
Összesen (N+P₂O₅+K₂O)	149,4	183,7	251,0	217,0	169,0	243,6	220,6
Trágyákkal visszapótlott							
N	27,1	31,1	91,9	118,4	74,6	99,5	123,4
P ₂ O ₅	25,2	60,3	91,4	100,9	59,9	83,4	103,3
K ₂ O	39,5	62,2	163,0	192,0	101,3	132,4	177,2
Összesen (N+P₂O₅+K₂O)	91,8	153,6	346,3	411,3	235,8	315,3	403,9
Egyenleg							
N	-28,0	-36,7	-5,9	-6,9	3,8	4,0	23,5
P ₂ O ₅	0,9	30,5	49,5	47,4	31,0	42,6	62,0
K ₂ O	-30,5	-23,9	51,7	53,8	32,0	25,1	96,9
Együtt (N+P₂O₅+K₂O)	-57,6	-30,1	95,3	94,3	66,8	71,7	182,4
*Visszapótlás intenzitása, %							
N	49	46	94	94	105	104	124
P ₂ O ₅	104	202	218	189	207	204	250
K ₂ O	56	72	146	139	146	123	221
Együtt (N+P₂O₅+K₂O) átlag	70	107	153	141	153	144	198
Szervestrágya eredetű NPK részaránya az összes adott NPK-ban, %	46,2	55,7	13,4	65,2	10,1	46,6	61,4

*Visszapótlás intenzitása a termékekkel elvitt tápelemek trágyákkal való %-os visszajuttatását jelenti. A 100% tükrözheti a kivonás és a bevitel egyensúlyát, míg a 100% alatti érték a talajzsaroló, a 100% feletti a talajgazdagító trágyázás gyakorlatára utalhat

Ott ahol jelentős a nem művelt és nem trágyázott területek aránya - Lienz, Liezen - a mérleg negatív is lehet. Intenzív belterjes gazdálkodást azonban, mint a 2. ábrából is kitévnik, csak pozitív tápanyag-mérleg mellett, talajgazdagító trágyázással folytathatunk. Különösen vonatkozik ez azon körzetekre - Eisenstadt, Gänserndorf - amelyekre a monokultúras gabonatermesztő gazdaságok túlsúlya, a szántónak kalászosokkal való telítettsége jellemző. Itt a visszapótlás intenzitása a 140-180 %-ot is elérheti. Minden valószínűség szerint e mögött a termésbiztonságra való törekvés is meghúzódik, hisz monokultúrában közismerten nagyobbak a termésingadozások.



2.ábra

A művelt terület aránya és a trágyavisszapótlás intenzitásának összefüggése
(Mezőgazdaságilag hasznosított terület, 1973)

Ezek a körzetek Ausztria délkeleti szárazabb és melegebb, hozzánk közelebb fekvő és természeti adottságaiban, gazdálkodási módjában hasonló vidékeit reprezentálják. Mint ismeretes, a tápanyaghiány tünetek a N kivételével szárazabb években kifejezettebbek. A növények tápanyag ellátottságát ugyanis a talajoldat tápanyag koncentrációja, a talaj nedvességtartalma és a gyökérzet nagysága

határozza meg. Minél szárazabb a talaj, annál hosszabbak a közbeeső diffúziós utak és annál csekélyebb a tápion-szállítás (MENGEL 1976).

A kedvezőtlen csapadékviszonyok tehát - egy bizonyos határig - szintén a trágyaigény növelése irányába hatnak, hisz szárazabb körülmények között egyrészt nagyobb tápanyag koncentrációra van szükségünk a talajban, másrészt a növény transzspirációs koefficiensét is így csökkenthetjük, illetve a víz hasznosulását javíthatjuk. A talaj szerkezete és vízháztartása közötti ismert szoros összefüggések miatt a rossz szerkezetű talajokon ez a tendencia még kifejezettebb.

Összefoglalva az elmondottakat úgy tűnik, hogy a korábban gyakran hangoztatott nézetekkel ellentétben mezőgazdaságunk alacsonyabb szintű szervezetrágyagazdálkodása, kedvezőtlenebb csapadékviszonyaink, talajaink rossz szerkezete, valamint a monokultúras gabonatermesztő gazdaságok túlsúlya az ország fajlagos műtrágyaszükségletét nem csökkentik, hanem növelik. Műtrágya felhasználásunk várhatóan nemcsak elérheti, hanem meghaladhatja a legintenzívebb műtrágyázást folytató nyugat-európai országok szintjét is a jövőben. Persze nem abszolút értelemben, hanem az egységnyi terméstartalom létrehozásához szükséges műtrágya mennyisége tekintetében.

Az energiahordozók drágulása ugyanakkor a műtrágyákat is egyre nyomatékosabb költségtényezővé teszi mezőgazdaságunkban. Ahhoz, hogy a műtrágyaigényünket csökkenthessük, két lehetőség önként kínálkozik:

- Az istállótrágya összegyűjtésére, helyes tárolására és felhasználására az eddigieknél nagyobb gondot kell fordítani.
- Az extenzív rét-legelő gazdálkodásunkat belterjesebb irányba kell fejlesztenünk.

Természetesen gazdasági szempontok fogják eldönteni, hogy az említett két út mennyiben járható. Az elmondottak alátámasztására a 16. táblázatban bemutatjuk Ausztria tápanyag-mérlegének alakulását 1937-73. között. A tápanyag-mérleg módszerét korábban már részletesen ismerttettem (KÁDÁR 1977a). Hazánk és Ausztria tápanyag gazdálkodását összehasonlítva megállapítható, hogy míg a terméssel kivont $N+P_2O_5+K_2O$ összege Ausztriában az 1937. évi $141 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségről $217 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségre emelkedett 1973-ra, addig Magyarországon a harmincas években kapott $92 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségű NPK $186 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ra nőtt 1975-re. A műtrágyákkal bevitt NPK Ausztriában $12 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ről $109 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségre, míg nálunk $0,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ről $224 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségre nőtt ugyanazon időszak alatt. (1973. és 1975. között Ausztria műtrágya felhasználása lényegében alig változott).

A visszapótlás intenzitása még kifejezettebben tükrözi hazánk dinamikusabb tápanyag gazdálkodási trendjét, hisz míg Ausztria az 1937. évi 81 %-os visszapótlását 102 %-ra emelte a 70-es évekre, addig Magyarország a 33 %-os visszapótlását 162 %-ra. A szerves trágya NPK részaránya a 30-as években mindkét országban 90 % körül volt, a 70-es évek elejére-közepére Ausztriában még mindig az összes tápanyagok felét jelentette, addig Magyarországon 1975-re 15 % alá süllyedt ez az arány (17. táblázat).

16. táblázat Ausztria tápanyag-mérlegének alakulása 1937-73. között
(Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg·ha⁻¹)

A mérleg tételei	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összesen
	1937			
Terméssel felvett	53,5	23,7	64,2	141,4
Visszapótlás				
istállótrágyáva	118,3	22,0	44,0	84,3
trágyalével	4,4	0,2	13,2	17,8
összesen	22,7	22,2	57,2	102,1
műtrágyákkal	5,1	4,2	2,6	11,9
mindösszesen	27,8	26,4	59,8	114,0
Egyenleg	-25,6	2,7	-4,4	-27,4
Egyenleg intenzitása, %	52	111	93	81
	1969			
Terméssel felvett	82,9	36,9	94,1	213,9
Visszapótlás				
istállótrágyáva	118,2	21,8	43,6	83,6
trágyalével	4,7	0,2	13,4	18,1
összesen	22,7	22,0	57,0	101,7
műtrágyákkal	29,8	31,1	36,6	97,5
mindösszesen	52,4	53,1	93,6	199,1
Egyenleg	-30,4	16,2	-0,5	-14,8
Egyenleg intenzitása, %	63	144	100	93
	1973			
Terméssel felvett	85,5	36,4	94,7	216,6
Visszapótlás				
istállótrágyával	20,0	24,0	48,0	92,0
trágyalével	4,9	0,2	14,8	19,9
összesen	24,9	24,2	62,8	111,9
műtrágyákkal	35,9	33,2	40,3	109,4
mindösszesen	60,8	57,4	103,1	221,3
Egyenleg	-24,7	21,0	8,4	4,7
Egyenleg intenzitása, %	71	158	109	102

17.táblázat. Ausztria és Magyarország tápanyag-gazdálkodásának összehasonlítása (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, NPK kg·ha⁻¹)

Ország megnevezése Évek	Ausztria			
	1937	1969	1973	
N+P ₂ O ₅ +K ₂ O kg·ha ⁻¹				
Termésben	141,4	213,9	216,6	
Műtrágyákban	11,9	97,5	109,4	
Szerves trágyákban	102,1	101,7	111,9	
Összesen	114,0	199,1	221,3	
Egyenleg	-27,4	-14,8	4,7	
Visszapótlás intenzitása, %	81,0	93,0	102,0	
Számosállat, db/ha	0,7	0,7	0,8	
Szervestrágya-NPK részaránya az összes adott NPK %-ában	89,6	51,1	50,6	
Ország megnevezése Évek	Magyarország			
	1932-36	1960-64	1971	1975
N+P ₂ O ₅ +K ₂ O kg·ha ⁻¹				
Termésben	92,1	112,7	149,7	185,5
Műtrágyákban	0,9	34,0	139,1	224,2
Szerves trágyákban	29,1	32,0	37,4	37,9
Összesen	30,0	66,0	176,5	262,1
Egyenleg	-62,1	-46,7	51,7	114,4
Visszapótlás intenzitása, %	32,6	58,6	134,5	161,8
Számosállat, db/ha	0,4	0,4	0,4	0,4
Szervestrágya-NPK részaránya az összes adott NPK %-ában	96,9	48,5	21,2	14,5

Az összes felhasznált tápanyag mennyiségét tekintve Ausztriában közel azonos nagyságrendű az istállótrágyában és a műtrágyában képviselt NPK. Hasonló a helyzet több észak- és nyugat-európai ország mezőgazdaságában is, mint pl. az NSzK, Hollandia, Belgium, Anglia stb. Részben a magasabb színvonalú szervestrágya-gazdálkodás, valamint a korábban bevezetett intenzívebb műtrágyázás eredményeképpen ezen országok tápanyag-mérlegei már a háborút megelőző évtizedekben is kiegyensúlyozottabbak voltak. Így pl. Németország P mérlege már a századfordulón, 60 évvel korábban, mint Magyarországon, egyensúlyba került (18. táblázat).

18. táblázat Németország tápanyag-mérlegének alakulása 1878/80 - 1964/66 között GERICKE (1967) nyomán. (Mezőgazdaságilag hasznosított terület, kg·ha⁻¹)

Évek	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összes	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Összes
	Felvett				Visszapótlott			
1878/80	36	18	50	104	17	8	16	41
1898/1900	43	22	55	120	27	22	30	79
1925/27	50	25	72	147	46	30	59	135
1936/38	64	32	93	189	59	40	78	177
1935/38	*75	30	93	198	65	42	82	189
1956/58	*91	37	129	257	90	60	123	273
1964/66	*102	41	138	281	112	78	141	331
	Mérleg				Visszapótlás %-a			
1878/80	-19	-10	-34	-63	47	44	32	39
1898/1900	-1	+0	-25	-41	63	100	55	66
1925/27	-4	+5	-13	-12	92	120	83	92
1936/38	-5	+8	-15	-12	87	125	84	94
1935/38*	-10	+12	-11	-9	87	140	88	95
1956/58*	-1	+23	-6	+16	99	162	95	106
1964/66*	+10	+37	+3	+50	110	190	102	118

* NSZK területére vetítve

2. Szabadföldi kísérletekben

2.1. A Mezőföldi Kísérleti Telep ismertetése

A kísérleti telep az Alföld nagytájának Dunántúlra eső Mezőföld tájában helyezkedik el, mégpedig a Nyugat-Mezőföld "Bozót-Sárvíz közti löszhát" geomorfológiai tájrészében, mintegy 140 m tengerszint feletti magasságban. Talajképző kőzete az elég tekintélyes vastagságú lösz, amely helyenként a 15-20 m vastagságot is eléri. Hidrológiai, éghajlati és növényföldrajzi viszonyait tekintve megállapíthatjuk, hogy a kevésbé felhős időjárása, több napsütése, nagyobb hőmérsékleti ingadozása, viszonylagos csapadékszegénysége, nyári időben aszályosságra való hajlamossága a Nagyalföld tájaihoz teszi hasonlóvá. Növényföldrajzi vonatkozásban is az Alföldhöz tartozik, mégpedig a Pannonicum terület Eupannonicum flóraidék Duna-Tisza közti flórajárásába. SZÜCS (1965), aki részletes talajföldrajzi kutatásokat végzett a kísérleti területen, a Duna-völgyi mészlepedékes csernozjomok közepes humuszrétegű, 50-75 cm változatához sorolja e talajokat.

SZÜCS (1965) említett vizsgálatai szerint a löszön kialakult vályog mechanikai összetétele meglehetősen állandó az egész talajszelvényben. Az agyagfrakció (<0,002 mm) mennyisége mintegy 20 %, a leiszapolható részé (<0,02 mm) pedig 40 % körüli. Az egyes alkotórészek közül a löszre jellemző 0,05-0,02 mm frakció mennyisége jelentős 35-50 %-kal. A kicserélhető kationok közül az egész talajszelvényben a Ca²⁺ az uralkodó. A vizes kivonat elemzési adatai szerint a vízben oldható sók mennyisége kicsi, 1 mgé/100 g, és növénytermesztési szempontból jelentéktelennek tekinthető. Minőségi összetételét

tekintve a Ca^{2+} és HCO_3^- mellett a Mg^{2+} és a SO_4^{2-} említésre méltó. Tekintettel a talajképző lösz vastagságára, a talajvíz tükre mélyen helyezkedik el és a talajképződésben különösebb szerepet nem játszik.

A kísérleti telep talajának általános jellemzésére a 19. táblázatban mutatunk be néhány adatot egy kiragadott szelvény alapján. A szóban forgó talajok szerkezeti állapotát tekintve a nagyfokú felszíni tömörödésre, illetve cserepesedési hajlamra kell felhívni a figyelmet. A tömörödés olyan mértékű, hogy nagyobb eső alkalmával a csapadék egy része elfolyik és barázdás eróziót is okozhat, jóllehet a felszín lejtése alig észrevehető. Ezeken a magas mésztartalmú, tömörödésre amúgy is hajlamos talajokon a művelt réteg talajának szerkezete az érintetlen, szántás alatti humuszos szinthez képest leromlott. Ez a leromlás a morzsák vízállósága alapján mintegy 40-70 % nagyságrendű (20. táblázat).

19. táblázat. A Nagyhörcsöki Kísérleti Telep talajszelvényének jellemzése SZÜCS (1965) vizsgálatai nyomán

Mintavétel mélysége, cm	pH		CaCO ₃ %	K _A	Hy	Humusz %
	H ₂ O	KCl				
0 – 25	8,0	7,8	6,3	38	2,3	3,4
25 – 40	8,4	8,2	15,5	45	2,3	2,8
40 – 60	8,4	8,2	21,4	43	1,9	2,0
60 – 90	8,6	8,4	33,2	39	1,5	1,2
90 -130	8,6	8,4	32,7	37	1,2	0,5

20. táblázat. Vízálló morzsák aránya a Nagyhörcsöki Kísérleti Telep egyik talajszelvényében, %

Mintavétel mélysége, cm	1 mm-nél kisebb	1 mm-nél Nagyobb	Összes vízálló morzsa
0 – 20	12-20	10-16	22-36
20 – 32	14-18	37-46	51-64
32 – 100	12-15	41-53	53-68
100 – 130	2 - 3	10-21	12-23

A kísérleti terület szántott rétegének könnyen felvehető P-tartalma a kísérletek beállítása előtt gyenge, míg a K-tartalma viszonylag kielégítő ellátottságról tanúskodik ($\text{AL-P}_2\text{O}_5=60-80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, $\text{AL-K}_2\text{O}=150-200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). A csapadék eloszlására vonatkozó méréseink 1963-ig nyúlnak vissza a telepen. Amint a 21. táblázatból látható a Sárbogárdon mért 50 éves átlagtól való eltérések igen számottevőek az egyes évek között. Így pl. az 1968-as gazdasági évben 351 mm csapadék hullott, míg az 1975-ös gazdasági évben közel háromszorosa, 945 mm. Az átlagosnál szárazabb gazdasági évek között 1968, 1971, 1973, 1976 említendő, míg csapadékos esztendő volt az 1965, 1966, 1972, 1975.

21.táblázat. A kísérleti telep csapadékeloszlása 1963/64 - 1975/76 között (Nagyhörcsök, mm)

Hónap	Átlag*	1963/ 1964	1964/ 1965	1965/ 1966	1966/ 1967	1967/ 1968	1968/ 1969	1969/ 1970	1970/ 1971	1971/ 1972	1972/ 1973	1973/ 1974	1974/ 1975	1975/ 1976
X.	53	32	95	-	53	14	6	30	14	-	25	35	208	70
XI.	57	32	42	160	109	6	56	66	35	30	83	39	35	22
XII.	42	56	62	86	42	41	24	59	36	31	1	90	41	30
Össz.	152	120	199	246	205	61	86	155	85	60	109	164	283	122
I.	34	-	38	24	33	21	-	33	39	35	26	37	18	25
II.	36	2	9	15	32	13	95	60	8	41	35	55	9	4
III.	37	41	28	66	30	17	54	76	21	14	11	12	36	44
Össz.	107	43	75	105	95	51	149	169	68	90	52	105	63	73
IV.	48	37	58	57	44	17	12	58	29	69	60	34	39	56
V.	64	71	68	43	49	28	52	32	77	99	-	93	86	20
VI.	61	124	97	96	60	17	156	62	69	60	136	131	147	37
Össz.	173	232	224	196	153	62	220	152	175	228	196	257	273	113
VII.	54	46	105	91	63	44	43	38	42	178	50	50	104	39
VIII.	55	102	58	44	15	72	76	128	18	103	30	82	182	77
IX.	49	47	75	74	94	61	19	17	47	25	43	98	41	95
Össz.	158	195	239	142	115	177	138	183	107	307	123	230	327	211
Mind- össz.	590	590	737	689	567	351	593	659	435	686	500	755	945	519

* Sokéves átlag (Sárbogárdon mért 50 éves átlag)

2.2. A P-utóhatás tartamkísérlet ismertetése, eredményei

Az eredetileg faktoriális NPK műtrágyázási adag-arány kísérletet LATKOVICSNÉ (1967) állította be 1961 őszén 20 kezeléssel és 4 ismétléssel, 63 m² alapterületű parcellákkal, split-plot elrendezésben, kukorica-búza 4 éves váltással. A főparcellákon a N, az alparcellákon a PK adagjai változtak. A II. ciklus befejezése után 1969 őszén a kísérletet P kísérletre alakítottuk át úgy, hogy egységes NK alaptrágya mellett minden régi P₀, P₃₀, P₆₀ szinten randomizálva 4 új P szintet helyeztünk el 0, 40, 80, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagokkal. A III. ciklus (azaz az új kísérlet) első két évében az alaptrágya szintje N₁₂₀K₆₀, míg az utóbbi két évben N₂₀₀K₁₀₀ kg·ha⁻¹ hatóanyagának felelt meg. Műtrágyaként pétisót, szuperfoszfátot és 40 %-os kálisót adagoltunk minden évben.

22. táblázat A kísérletek varianciái 1970+71+72 (szem q·ha⁻¹)

Tényezők	FG	MQ	F
Összes	79		
Blokk	3		
N (utóhatás)	3	1399.60**	14.31
P ("új")	3	6667.25***	68.16
α	1	18902.13***	193.23
Q	1	1023.17*	10.46
Eltérés	1	76.46	0.78
Hiba (N és P "új")	6	97.82	
PK (utóhatás)	4	2668.28***	25.44
Átlag P-hatás	1	9557.78***	91.14
Maradék	3	371.78*	3.55
Hiba (PK)	12	104.87	
NxPK (utóhatás)	12	37.06	0.85
N x átlagos P	3	85.91	1.97
N x maradék	9	20.77	0.48
P ("új") x PK (utóhatás)	12	182.58**	4.19
α x átlagos P	1	1267.45***	29.06
Maradék	11	83.96	1.92
Hiba (N, P ("új"), PK utóhatás)	24	43.62	

*P = 5 %-os valószínűségi szinten szignifikáns,

**P = 1 %-os valószínűségi szinten szignifikáns

***P = 0.1 %-os valószínűségi szinten szignifikáns

A viszonylag magas egységes NK alaptrágyázás ellenére a kísérlet első éveiben a régi N főparcellák utóhatásai még jelentkeztek, azonban amint a 22. táblázatban bemutatott összevont variancia-analízis táblázatokból kiderül az NxP kölcsönhatások nem. A továbbiakban ezért az új-P hatására kapott szemterméseket, illetve az ezekből számított határfüggvényeket az N, illetve a régi NK kezelések átlagában a régi P₀, P₃₀, P₆₀

szintek szerint rendezve mutatjuk be. A kísérlet részeredményeiről korábban már több helyen beszámoltunk (FÜLEKY és KÁDÁR 1975, KÁDÁR 1973, 1974, 1975, 1976, KÁDÁR és SARKADI 1973, SARKADI és KÁDÁR 1974).

A hatások és utóhatások szabatosabb megfigyelése érdekében a búza jelzőnövényt a III. ciklusban sem változtattuk, így eredményeink 5-8 éves búza monokultúrára vonatkoznak. A monokultúra sikeres fenntartása érdekében a III. ciklusban fajtacserét és tarló-, ill. szalmaégetést alkalmaztunk. A fajta 1970. és 1971. években Bezosztaja 1, 1972-ben Jubilejnaja, 1973-ban pedig Kiszombori volt.

A 23. táblázatban bemutatjuk a kísérlet főbb jellemző adatait a II. ciklus befejezésekor, 1969 őszén. Amint a táblázatból látható, az egyes parcellák talajának könnyen oldható P- tartalmában a 8 év alatt összesen adott 0, 240 és 480 kg·ha⁻¹ P₂O₅ hatására már kimutatható különbségek alakultak ki, így módunkban állt egy kísérleten belül a talaj P-tartalma, illetve a "régi-P" utóhatásai és az újonnan adott P-hatások közötti összefüggéseket vizsgálni. Metodikailag olyan kísérleti körülmények biztosítása volt a cél, ahol minden P-hatást befolyásoló tényező (alaptrágyázás szintje, talaj típusa, éghajlat, agrotechnika, növényfaj stb.) változatlan szinten tartható, kivéve a talaj P-tartalma.

23. táblázat A kísérlet főbb jellemzői a II. ciklus befejezésekor 1969 őszén (az NK parcellák átlagában)

Adott P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	Összes szem- termés, t·ha ⁻¹	Kivont P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	P ₂ O ₅ mérlege kg·ha ⁻¹	AL- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹
1961-69. között 8 év alatt			1969 őszén	
-	22,0	145	-145	60
240	26,4	205	35	70
480	27,6	238	242	93

A szemtermést kisparcellás kombájnnal (Fergusson) teljes érésben, július második felében takarítottuk be. Terméselemzés céljából aratás előtt a nettó parcellákon 4 fm, azaz 0,5 m² területen mintakévéket vettünk. A növényi részek NPK tartalmát kénsav-peroxidos roncsolással határoztuk meg (THAMMNÉ, KRÁMER és SARKADI 1968). Tarlópótlás után minden parcella nettó területének szántott régegéből 20-20 pontminta egyesítésével évente átlagmintákat kevertünk, amelyekben vizsgáltuk a talaj könnyen oldható P-tartalmát AL-módszerrel (SARKADI, KRÁMER és THAMMNÉ 1965) évente, valamint OLSEN et al. (1954) szerint kétevente.

A III. ciklus első évében, azaz 1969/70-ben az 5. éves monokultúrában már a kártevők és betegségek (hesseni-légy, fuzárium, lisztharmat stb.) erősen felléptek a viszonylag csapadékos időjárás mellett. Bár ez a fertőzés az egész kísérletben jelentkezett, elsősorban mégis a negatív P-mérlegű, NK-val egyoldalúan műtrágyázott parcellák növényállományában okozott nagyobb kárt. Ezért a fertőzések hatásának csökkentése érdekében aratás után a tarlót a szalmatermással együtt felégettük. Többek között ennek is köszönhető, hogy a további években a 6., 7., illetve 8. éves búza egészségesen fejlődött és pl. 1971-ben a viszonylag száraz tavasz ellenére a P-ral jól ellátott parcellákon kielégítő – 4 t·ha⁻¹ feletti - szemterméseket kaptunk. Csökkent a

kísérlet gyomossága is, amely a tarló- és szalmaégetés után az erősen gyomosról gyenge és közepes gyomosra változott. Emellett évente talajfertőtlenítést is végeztünk (Lindán).

Szemterméseredmények

A III. ciklus 4. évének terméseredményeit a 24. táblázatban mutatjuk be évenkénti bontásban és a 4 év átlagában. Amint a táblázatból kitűnik a régi P0, P1, P2 szinteken az új P-trágyázás átlagos marginális hatékonysága - az évi 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagnál 1 kg P₂O₅-re jutó szemterméstöbblet - annál kisebb, minél több P van a talajban, illetve minél nagyobb a talaj P-ellátottsága. A 8 éven át P-ral nem trágyázott talajon ez az érték 15 körül alakul az évek átlagában, míg a rendszeresen P30 adaggal trágyázotton csak 11, illetve a rendszeresen évi 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ trágyázás esetén 5 kg. Meg kell jegyeznünk, hogy az évi 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ friss trágyázás ez utóbbi (P2) esetben is igen gazdaságosnak mutatkozott, mert évi átlagban mintegy 6 q szemterméstöbblettel járt, amely 1 kg P₂O₅-re közel 15 kg búzát jelent.

24. táblázat A talaj P-ellátottsága és a P műtrágyázás hatékonysága (Szemtermés t·ha⁻¹, 86 % szárazanyagra számítva)

Régi P	Új P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ 1970-73. között					
	0	40	80	120	SzD _{5%}	B*
1970. (Bezostaja 1)						
P0	1,42	2,08	2,41	2,76	4,1	12,7
P1	2,56	2,82	3,13	3,32	4,1	6,6
P2	2,63	2,77	3,05	3,16	5,4	4,6
1971. (Bezostaja 1)						
P0	1,72	2,86	3,69	3,94	4,8	17,0
P1	2,74	3,49	4,04	4,30	4,8	13,0
P2	3,40	4,15	4,21	4,22	6,8	6,2
1972. (Jubilejnaja)						
P0	1,36	2,62	2,82	3,36	4,5	15,6
P1	2,18	3,05	3,44	3,83	4,5	13,4
P2	3,18	3,74	3,72	3,83	5,7	4,8
1973. (Kiszombori)						
P0	1,96	3,78	4,40	3,98		19,4
P1	2,71	3,79	4,36	3,88	4,1	13,6
P2	3,19	4,11	3,89	3,95		6,0
1970-73. átlagában						
P0	1,61	2,84	3,33	3,51		15,5
P1	2,55	3,29	3,74	3,83	2,7	11,4
P2	3,10	3,69	3,72	3,79		5,2

* Az új P átlagos marginális hatékonysága (1 kg P₂O₅-re jutó szemtermés többlete kg-ban, évi átlagos 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagnál)

Az egyes évek között ugyan megfigyelhető bizonyos szórás, de a törvényszerűségek azonosak minden évben. A "B" értékeket tekintve szembetűnő, hogy a friss P trágyázás hatékonysága nem csökken, hanem nő az évekkel. Ahhoz, hogy stabilabb átlagokhoz

jussunk, a 2-2 év szemterméseredményét összevontan is értékeljük a 25. táblázatban. A táblázat adataiból arra következtethetünk, hogy amíg a P-ral egyáltalán nem trágyázott parcellák termésszintje közel azonos a 2-2 év átlagában és nem csökkenő, hasonlóképpen a régi P1, P2 szintek utóhatásai is viszonylag állandóak - amihez minden bizonnyal a megemelt NK alaptrágyázás is hozzájárult - a friss P trágyázás hatása és ezzel együtt a maximális termések szintje is emelkedett az utóbbi 2 évben, tehát a P-hatás kumulatív jellegű.

Érdemes megfigyelni a P-hatások "fejlődését" a kísérlet 12 éve folyamán. Bár a kísérlet első 8 éve alatt a P hatásai nem teljesen különíthetők el az NK hatásaitól, így pl. a régi P2 szintek egyben K2 szinteket is jelentenek, tájékoztató jelleggel azonban a P-hatások becsülhetők. A 26. táblázatban bemutatjuk a P szintek és a szemtermések összefüggéseit a kísérlet I-II. ciklusaiban az NK kezelések átlagában. Az abszolút kontroll parcella alacsony termésszintje a P kontrollhoz viszonyítva utal arra, hogy a kukorica termését elsősorban az NK befolyásolta mintegy 10 q·ha⁻¹ terméstöbblettel, míg a P hatásai elhanyagolhatók voltak.

25. táblázat A talaj P-ellátottsága és a P műtrágyázás hatékonysága (Szemtermés t·ha⁻¹ 86 % szárazanyagra számítva)

Régi P	Új P szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ 1970-73. között						
	0	40	80	120	SzD ₅ %	Átlag	%
1970-71. átlagában (N120 K60)							
P0	1,57	2,47	3,05	3,35		2,61	100
P1	2,65	3,16	3,58	3,81	3,8	3,30	126
P2	3,02	3,46	3,63	3,69		3,45	132
Átlag	2,41	3,03	3,42	3,62		3,12	120
%	100	126	142	150		129	
1972-73. átlagában (N200 K100)							
P0	1,66	3,20	3,61	3,57		3,04	100
P1	2,44	3,42	3,90	3,86	3,6	3,40	112
P2	3,18	3,92	3,80	3,89		3,70	122
Átlag	2,43	3,51	3,77	3,81		3,38	111
%	100	144	155	157		139	

A II. ciklusban az őszi búza termését már alapvetően a P-trágyázás szabályozta, míg az önmagában adott NK trágyázás a termést alig emelte. Ehhez az NK alaptrágya megemelésén kívül kétségtelenül az is hozzájárult, hogy mint ismeretes az őszi búza általában jobban reagál a P-trágyázásra a kukoricánál. Jelentős azonban a P-hatások növekedésében az a tényező, amely a talajban akkumulálódó, eltérő P szintek létrejöttével kapcsolatos. A 26. táblázat adataiból megállapítható, hogy a régi P szintek utóhatásai a kísérlet III. ciklusában elérik (P1), sőt meghaladják (P2) a korábbi hatásokat. A magasabb NK alaptrágyázással különösen előnyösnek mutatkozott a nagyobb adagú régi P2 szint utóhatása.

26. táblázat A régi P szintek hatásai illetve utóhatásai a kísérlet 12 éve alatt, NK kezelések átlagában (Szemtermés t·ha⁻¹, 86 % szárazanyagra számítva)

Régi P ₂ O ₅ szintek kg·ha ⁻¹ /év (1961-68)	Kukorica 1962-65. N50 K30		Búza 1966-69. N80 K30		*Búza 1970-73. N160 K80	
	Latkovicsné adatai		Krámer adatai		Kádár adatai	
	Termés	Többlet	Termés	Többlet	Termés	Többlet
Ø	2,63	-	1,70	-	-	-
P0	3,62	-	1,87	-	1,61	-
P30	3,82	0,20	2,78	0,91	2,55	0,94
P60	3,88	0,26	3,02	1,15	3,10	1,49

Ø = Abszolút kontroll * = Utóhatás (Új P = 0)

A talaj termékenységének egyre fontosabb eleme a lassan elkülönülő P-szintek jelenléte. Erre utal az is, hogy a régi P1 és P2 szinteken friss trágyázással elért termésmaximumokat a régi P0 szinten még a termés által kivont P mennyiségét 2-3-szorosan meghaladó évi 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagokkal sem tudtuk elérni az első 3 év folyamán. Ilyen értelemben beszélhetünk a talaj trágyázásáról. Trágyázási rendszereinket tehát úgy kell alakítanunk, hogy a maximális termések elérése céljából a kívánatos tápanyag-ellátottsági szintek létrehozását - a talaj termékenységének nemcsak egyszerű fenntartását, hanem növelését, bővített újratemelését - is szem előtt tartsuk.

Kísérletünk módot ad arra, hogy megbecsülhessük a talajban maradó P előregedésének (degradációjának, fixációjának, értécsökkenésének) mértékét. A P megkötődésének és érvényesülésének problémája mind elméleti, mind gyakorlati szempontból különös fontosságú és immár másfél évszázada foglalkoztatja az agrokémia képviselőinek legjobbjait. A különbség-módszerrel mért hasznosulási számítások - a kontroll parcella terméséhez viszonyított terméstöbbletek P tartalma alapján kapott értékek - szerint a P trágyák mintegy 10-30 %-ban hasznosulnak a klasszikus irodalom (pl. PRJANISNYIKOV) szerint. Tartamkísérletekben ennél jóval magasabb hasznosulást is kaphatunk, sőt az újabb irodalomban olyan véleményekkel is találkozhatunk, hogy a teljes bevitt P műtrágya is hasznosulhat hosszabb időszak alatt és kis termések árán (pl. Cooke). A különbség-módszerrel mért hasznosulások tehát nem adnak megbízható információt a talajba került P-vegyületek sorsáról.

A már régóta intenzíven trágyázott területeken egyre gyakrabban nem hat a P. Ennek tartamkísérletek és a gyakorlati tapasztalatok szerint nem a lekötődés, hanem a P-felhalmozás az oka. Különösen amikor a különbség módszerrel kapott hasznosulási adatokból kiindulva 3-5-szörös P túltrágyázást is indokoltnak tartunk. Természetesen a jelentős utóhatások nem jelentik azt, hogy a talajban maradt P teljesen egyenértékű lenne az újonnan adott P-műtrágya termésmenvelő hatásával. A klasszikus különbség-módszerrel szemben tehát a mérleg módszerrel - a trágyával adott és az összes terméssel kivont P hányadosai útján - kapott információ sem elfogadható. Lássuk ezt a kísérletünk 27. táblázatban bemutatott adatai alapján.

27. táblázat A régi P-trágyázás utóhatásának, valamint a friss P-trágyázás hatásának összehasonlítása (Szemterméstöbblet t·ha⁻¹/4 év alatt, 1970-73. között)

Új P-szintek	Régi P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1961-69. között				Átlag
	P0	P30	P60	SzD _{5%}	
	Utóhatás				
0	-	3,76	5,96	2,7	
	Hatás				
40	4,92	2,96	2,36		3,41
80	6,88	4,76	2,48	2,7	4,71
120	7,60	5,12	2,76		5,16
	Utóhatás + hatás				
40	4,92	6,72	8,32		6,65
80	6,88	8,52	8,44	2,7	7,95
120	7,60	8,88	8,72		8,40
Átlag	6,47	8,04	8,49		7,67

Az 1969-72. időszakban 4 éven át adott évi 120 új, valamint az azt megelőző 8 évben a régi P2 kezelésben adott évi P60 kg P₂O₅ ha⁻¹ parcellákon egyaránt 480 kg a P₂O₅/ha felhasználás. Hasonlítsuk össze a szuperfoszfát utóhatásait és a friss kumulatív hatásait. Amíg a frissen adott 480 kg·ha⁻¹ P₂O₅ a régi P0 szinten összesen 7,6 t·ha⁻¹, addig a 8 évvel korábban adott P480 kg·ha⁻¹ P₂O₅ utóhatása ugyanezen idő alatt kereken 6,0 t·ha⁻¹, tehát az előbbi érték mintegy 80 %-ának megfelelő szemterméstöbbletet eredményezett. Természetesen sem a P-hatások, sem az utóhatások nem lineárisak és így a talajban maradt P-nak az újonnan adott P-műtrágya hatásában kifejezett %-a is függ az alkalmazott adagoktól. A régi P240 utóhatása 3,7 t·ha⁻¹ volt, amely az 1969-72. között adott friss 240 kg·ha⁻¹ P₂O₅ - a termésgörbéről interpolált - 6,0 t·ha⁻¹ terméstöbbletének kereken 60 %-a.

Úgy tűnik, hogy minél nagyobb a régi P adagja, az utóhatások annál közelebb állnak a friss P hatásaihoz. Tehát annál nagyobb a régi-P "friss P egyenértéke", illetve annál kisebb a P lekötődése a talajban. Ez az összefüggés alapvetően a termésgörbe alakjából következik, amely a magasabb adagoknál ellaposodik és másodfokú négyzetes hatásfüggvényekkel írható le.

Még egy összefüggést megfigyelhetünk. Ha a szemtermések 4 évi átlagai helyett csak a 3 évi átlagokat - illetve az ezekből számított négyzetes hatásfüggvényeket - vizsgáljuk, akkor amint az a hatásfüggvényekből kiszámítható: a régi P1=240 kg P₂O₅ a 3 év alatt 129 kg·ha⁻¹, a régi P2=480 kg·ha⁻¹ P₂O₅ a 3 év alatt 258 kg·ha⁻¹ új P₂O₅ hatásával volt egyenlő. A régi P egyenértéke tehát 50-60 % körül ingadozott a 3 év átlagában és kisebb volt mint a 4 év átlagában.

Az év is a P adaggal, illetve a hatásgörbe alakjával függ össze. Az évek növekvő száma ugyanis esetünkben egyet jelent a friss P adagjának kumulatív növelésével. Minél nagyobb azonban a friss P adagja, annál kisebb lesz a fajlagos hatékonysága és relatíve a friss P hatásában kifejezett régi P egyenértéke is. A régi P egyenértékeinek számításához a továbbiakban a 3 éves átlagokat használtuk fel, mert a tápanyag-mérlegek alapján a régi P2-P0 szintek között 387 kg·ha⁻¹ P₂O₅ volt a különbség a talajban, amely értéket a 3

éven át adott friss $120 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1} = 360 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ összes adag közelítette meg a legjobban.

A három év átlagában az új P szemterméseiből számított négyzetes hatásfüggvények egyenletei a következők voltak:

$$\text{rég} \text{ P0 szinten } y = 1,52 + 2,71x - 1,00x^2 \quad /1/$$

$$\text{rég} \text{ P1 szinten } y = 2,50 + 1,75x - 0,55x^2 \quad /2/$$

$$\text{rég} \text{ P2 szinten } y = 3,09 + 1,27x - 0,62x^2 \quad /3/$$

ahol az $y =$ szemtermés t ha^{-1} ; $x =$ új $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

Mivel a kvadratikus regressziós koeficiensek (b2) nem különböztek szignifikánsan egymástól, feltehetjük, hogy a görbéknek csak a meredekségük volt eltérő. Ebben az esetben a számított egyenletek a következők:

$$y = 15,6 + 24,0x - 7,45x^2 \quad /1a/$$

$$y = 24,6 + 19,9x - 7,45x^2 \quad /2a/$$

$$y = 30,8 + 14,2x - 7,45x^2 \quad /3a/$$

Mind ez utóbbi, közvetlenül összehasonlítható lineáris regressziós koeficiensek /b1/, mind az átlagos új P adag - évi $60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ - marginális hatékonyságai igazolják, hogy ezen a karbonátos csernozjom talajon is a régi P egy része felvehető maradt az őszi búza részére. Az új P kezdeti és átlagos hatékonysága ugyanis annál kisebb, minél több régi P volt a talajban. Ha az egyenletet /1/ $y = 25,0$ értéknél - a régi P1 szinten kapott átlagos szemtermésnél - x -re megoldjuk, úgy évi $43 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ -t kapunk. Tehát $240 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ régi P_2O_5 utóhatása 3 év alatt összesen $129 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ új P_2O_5 termésmenővelő hatásával volt egyenértékű. Hasonló számítással a régi $480 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ egyenértéke $3 \times 84 = 252 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ új P_2O_5 -nek adódott.

Hasonló értékeket kapunk, ha az új P hatásait nem a szemtermések, hanem az összes terméssel kivont P alapján mérjük. Ha a régi P hatékonyságát első megközelítésben lineárisnak tekintjük, úgy 100 kg régi P-t mintegy $50\text{-}60 \text{ kg}$ új P hatásával vehetjük össze. Ez az egyenérték a valóságban minden bizonnyal nagyobb, mert hiszen az 1961-68. években adott P egy részét a növények felvették. Ha elfogadjuk azt a számítást, mely szerint a talajban maradt P mennyiségére a műtrágyával adott és a növények által kivont P különbségéből következtethetünk, úgy a 28. táblázatban közölt adatok szerint 1969-ben a régi P1 szinten $180 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ral, a régi P2 szinten $387 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ral több P_2O_5 volt a talajban mint a P0 szinten. Az ily módon számított 100 kg maradék P mintegy 70 kg új P hatásával volt egyenértékű.

Jelenlegi módszereinkkel a P műtrágyák valódi hasznosulását nem tudjuk megállapítani. Így nem tudjuk pontosan megbecsülni a régi P szinteken visszamaradt P mennyiségeit sem. Valószínűleg ezek kisebbek az adott P-nál, mert 8 év alatt a növények egy részüket felvették. Viszont a talajban végbemenő feltáródási folyamatok miatt lehetséges, hogy valamivel nagyobbak mint a P-mérleg szerint számított értékek. Tájékoztatás céljából mind a klasszikus "különbség-módszerrel", mind a "mérleg-módszerrel" kiszámítottuk az adott, illetve a talajban maradt régi P érvényesülését (28. táblázat).

28. táblázat. A régi P érvényesülései, illetve egyenértékei az új P hatásában kifejezve

Tulajdonság		Évek		Régi P szintek	
Adott	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-69	-	240	480
Kivont	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-69	145	205	238
Kivont többlet	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-69	-	60	93
Egyenleg	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-69	-145	35	242
Talajban maradt	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-69	0	180	387
Adott	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1970-72	-	-	-
Kivont	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1970-72	38	64	80
Kivont többlet	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1970-72	-	26	42
Adott	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-72	-	240	480
Kivont	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-72	183	269	318
Kivont többlet	P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹	1962-72	-	86	135
Érvényesülés a "különbség-módszer" szerint, %-ban:					
Kivont többlet/adott		8 év alatt		25	19
Kivont többlet/talajban maradt		3 év alatt		14	11
Kivont többlet/adott		11 év alatt		36	28
Érvényesülés a "mérleg-módszer" szerint, %-ban:					
Kivont többlet/adott		8 év alatt		85	50
Kivont többlet/talajban maradt		3 év alatt		35	21
Kivont többlet/adott		11 év alatt		120	67
Új P egyenértéke a régi P szerint:					
Termésgörbe alapján		1970-72		129	258
Kivont P ₂ O ₅ alapján		1970-72		136	264
Régi P egyenértéke az új P szerint:					
Termésgörbe alapján		1970-72		54	54
Kivont P ₂ O ₅ alapján		1970-72		57	55
Talajban maradt P egyenértéke az új P szerint:					
Termésgörbe alapján		1970-72		72	67
Kivont P ₂ O ₅ alapján		1970-72		75	68

A 28. táblázatból kitűnik, hogy bármilyen módszerrel számítjuk is a régi P hasznosulását, ez az érték még jelentősen, mintegy 40-50 %-kal növekedett a megelőző 8 éves időszakra számított értékhez viszonyítva. Az utóhatások mértékéből feltehető, hogy a hasznosulási %-oknál még további növekedésre számíthatunk az évek során.

Talajvizsgálati eredmények

a.) A könnyen oldható PK tartalom változása

A talajban maradt régi és új P mennyiségére a talaj könnyen oldható P tartalmának vizsgálatából is következtethetünk. A régi és az új P hatásait visszatükröző görbék meredeksége ugyan évenként szignifikánsan változott, de a változások nem voltak nagyok. A 29. táblázat adataiból megfigyelhető, hogy a friss P adagjainak kumulatív hatását az évenkénti talajvizsgálatok is jól jelzik. A 30. táblázatban a 2 évenkénti átlagok stabilabban mutatják az AL-oldható P tartalom változásait. Ugyanitt megemlítjük, hogy az AL- és a NaHCO₃-oldható P tartalom között szoros ($r=0,82$ és $0,76$) összefüggést lehetett tapasztalni. Bár az Olsen-P abszolút értékei kisebbek az AL-P értékeknél, azonban a százalékos változások nagyobbak, e módszer tehát érzékenyebben reagált a P állapotában bekövetkezett módosulásokra. A régi és a friss P által okozott változások, illetve a talajvizsgálati adatok görbéire tesztelt régi P egyenértékek azonban mindkét módszerrel közel azonosak és követik a termés alapján számított egyenértékeket.

29. táblázat A könnyen oldható P-tartalom alakulása P-trágyázás hatására (AL-P₂O₅ mg/100 g talaj, 80-80 analízis összevont adatai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ 1970-73. között					
	0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
1970						
P0	5,9	6,3	6,4	7,4		6,5
P	17,0	7,4	8,0	8,4	1,0	7,7
P	29,0	9,3	10,2	11,0		9,8
Átlag	7,3	7,7	8,2	8,9	0,5	8,0
1971						
P0	6,0	6,4	8,6	9,6		7,7
P1	7,0	8,7	10,0	10,6	1,0	9,0
P2	8,2	10,2	10,8	12,6		10,5
Átlag	7,1	8,4	9,8	10,9	0,6	9,1
1972						
P0	5,8	6,6	7,4	8,6		7,0
P1	6,4	7,4	8,8	10,2	1,1	8,2
P2	7,7	8,8	9,2	11,4		9,3
Átlag	6,6	7,6	8,5	10,1	0,8	8,2
1973						
P0	6,3	8,7	9,4	12,9		9,3
P1	8,3	9,9	10,2	13,8	2,2	10,6
P2	10,6	11,5	15,9	17,1		13,7
Átlag	8,4	10,0	11,8	14,6	1,4	11,2

30. táblázat A könnyen oldható P-tartalom alakulása P-trágyázás hatására, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (AL- és Olsen módszer összehasonlítása)

Régi P-szintek	Új P-szintek P_2O_5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$, 1970-73. között						
	0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag	%
AL- P_2O_5 1970-71. átlagában							
P0	60	64	75	85		71	100
P1	70	80	90	95	10	84	118
P2	86	98	105	118		102	144
Átlag	72	80	90	99	5	86	121
%	100	111	125	138	7	119	
AL- P_2O_5 1972-73. átlagában							
P0	60	76	84	108		82	100
P1	74	86	95	120	16	94	115
P2	92	102	126	142		115	140
Átlag	75	88	102	123	8	97	118
%	100	117	136	164	11	129	
Olsen- P_2O_5 1970-ben							
P0	10	12	13	18		13	100
P1	15	16	19	21	4	18	138
P2	20	25	27	28		25	192
Átlag	15	18	20	22	2	19	146
%	100	120	133	147	13	127	
Olsen- P_2O_5 1972-ben							
P0	12	16	20	27		19	100
P1	14	20	27	34	7	24	126
P2	20	26	29	44		29	153
Átlag	15	21	25	35	4	24	126
%	100	140	167	233	27	160	

A talaj P-ellátottsága (talajvizsgálati adatok) és a termésszintek kapcsolatát a 4 év átlagában mutatjuk be a 31. táblázatban. A kis P-tartalmú parcellákon viszonylag nagy P-hatásokat mértünk, míg $100\text{-}120$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL- P_2O_5 , illetve $30\text{-}40$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Olsen- P_2O_5 felett a hatások lecsökkennek. Az összefüggés tehát nem lineáris. Kísérleti körülményeink között $120\text{-}140$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL-, illetve $30\text{-}40$ $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Olsen- P_2O_5 felett megközelítettük a maximális terméseket, de ez a termésszint érthetően nem magas a sokéves búza monokultúrában. Nagyobb termésszinteket e tendenciák és összefüggések ismeretében is nagyobb P ellátottságra kell alapoznunk.

31. táblázat A talaj P-ellátottsága (talajvizsgálati adatok) és a termésszintek összefüggése 1970-73. között, 4 év átlagában

Könnyen oldható P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹		A hozzá tartozó szemtermés/többllet/	
AL	Olsen	t·ha ⁻¹	t·ha ⁻¹
60 alatt	10 alatt	1,61	/ - /
70-80	10 – 15	2,55	/0,94/
80-90	15 – 20	3,16	/0,61/
90-100	20 – 25	3,62	/0,46/
100-120	25 – 30	3,78	/0,16/
120 felett	30 felett	3,78	/ - /

Nőtt a parcellák AL-oldható K tartalma is az utóbbi évek folyamán, különösen 1972. és 1973. években, amikor évente már 120 kg·ha⁻¹ K₂O alaptrágyázást alkalmaztunk. Ez a mennyiség jelentősen meghaladta a növények által felvett K-tartalmakat, és a talajban a K felhalmozódott, akkumulációhoz vezetett a P-hoz hasonlóan (32. táblázat).

32. táblázat A szántott réteg AL-K₂O tartalmának változása (80-80 adat átlagai)

Évek	1970	1971	1972	1973
AL-K ₂ O mg %	12,4	13,8	15,8	18,6

b.) A talaj szerves-P frakcióinak alakulása (FÜLEKY és KÁDÁR)

Vizsgálataink arra irányultak, hogy nyomon kövessük a különböző korú műtrágya-P talajbani átalakulását és az előregedés folyamatát talajkémiai módszerrel is jellemezzük. A talaj-P frakcionálás módszerét FÜLEKY (1974) már részletesen ismertette, illetve korábbi munkánkban irodalmát áttekintettük (FÜLEKY és KÁDÁR 1975), ezért csak annyit említünk meg, hogy a CHANG és JACKSON (1957) által bevezetett csoportosítás szerint az I. frakció az ún. gyengén kötött foszfort, a II. frakció az alumíniumfoszfátokat és részben változatos összetételű kalcium-, valamint magnéziumfoszfátokat, a III. frakció vasfoszfátokat, a IV. frakció pedig nehezen oldható kalciumfoszfátokat tartalmaz.

A korábban bemutatott talajvizsgálati adatok igazolták, hogy a talajba juttatott P-műtrágya növeli a talaj könnyen oldható P-készletét és az így kialakult készlet (ellátottsági szint) huzamosabb ideig fennmarad. A készlet és az állapot fogalma között itt célszerű különbséget tenni. Míg a P-készlet csupán a talaj P-tartalmának a növény rendelkezésére álló és valamilyen oldószerrel kioldható mennyiségéről ad tájékoztatást mint mennyiségi mutató, addig a P-állapot megmutatja a kérdés minőségi oldalát, vagyis a különböző oldékonyságú P-formák mennyiségének, minőségének és egymáshoz való arányának alakulását is.

33. táblázat A P-műtrágyázás hatása a talaj szerves-P frakcióira (4 ismétlés átlagai 1971-ben, ppm P) (FÜLEKY és KÁDÁR 1975)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-71. között						
	0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag	%
Chang-Jackson I. frakció							
P0	1,9	3,0	4,7	5,6	1,8	3,5	100
P2	3,7	5,3	6,5	7,5	1,8	5,7	151
Átlag	2,8	4,2	5,6	6,6	1,3	4,6	
%	100	150	200	236	46	164	
Chang-Jackson II. frakció							
P0	22,0	27,0	33,0	38,0	7,0	30,0	100
P2	31,0	40,0	44,0	46,0	7,0	40,0	133
Átlag	26,5	33,5	38,5	42,0	5,0	35,0	
%	100	126	145	158	19	132	
Chang-Jackson III. frakció							
P0	7,8	11,0	9,9	8,9	4,2	9,4	100
P2	9,5	10,6	13,5	13,6	4,2	11,8	125
Átlag	8,6	10,8	11,7	11,2	3,0	10,6	
%	100	126	136	130	35	123	
Chang-Jackson IV. frakció							
P0	430	453	448	442	18	443	100
P2	431	454	455	456	18	449	101
Átlag	430,5	453,5	451,5	449,0	13	446,0	
%	100	105	105	104	3	104	

Vizsgálati eredményeinket a 33. táblázatban foglaltuk össze. Mintavételezés a kísérlet 2. évében, 1971-ben történt. A növekvő adagú friss P trágyázás igen érzékenyen tükröződik az első két P-frakcióban mind a régi P0, mind a régi P2 szinteken. A friss P hatására az I. frakció mennyisége 2-3-szorosára emelkedik, a II. frakció növekedése is mindkét régi P szinten szisztematikus és szignifikáns. A III. frakcióban ez a változás csak tendencijelleggel igaz. A régi P szintek hatása ugyan az első két frakción is követhető - bár a friss P hatását közel sem éri el - a III. frakción éppen fordított a helyzet, a régi P szintek utóhatása dominál és egy esetben statisztikailag is igazolható volt. Az alkalmazott P adagok, a IV. frakció %-os változásait tekintve nem befolyásolták lényegesen a nehezen oldódó kalciumfoszfátok mennyiségeit.

A szerves-P foszfátfrakciók és a könnyen oldható foszfortartalom összefüggéseit vizsgálva megállapítható, hogy az AL-, valamint az Olsen módszer is az első két frakcióval mutat szoros összefüggést. A lineáris kapcsolatok szorosságára utaló "r" értékek 0,63 – 0,96 között váltakoztak és minden esetben 0,1 %-os szinten statisztikailag igazolhatóak voltak. A konvencionális kivonószerekkel kapott talajvizsgálati értékek esetenként a III. és a IV. frakciókkal is összefüggtek, különösen a foszforral nem vagy gyengén trágyázott talajokon. A könnyen oldható P-tartalomnak a növényi P-felvétellel, illetve a terméssel mutatott szoros összefüggése arra utal, hogy ilyen esetben a növényi

tápanyagfelvétel is hasonlóan alakul az egyes frakciókból. Rosszul ellátott talajon tehát - növénytáplálkozási szempontból - az utóbbi III. és IV. frakciók is szerephez juthatnak (FÜLEKY és KÁDÁR 1975).

Növényvizsgálati eredmények

A P-trágyázás nemcsak a szemtermés mennyiségét, hanem annak P-tartalmát is megváltoztatta. Amint a 34. táblázat adatai mutatják, a szemtermés P %-a minden évben szignifikánsan nőtt mind az új, mind a régi P hatására. A tendenciák minden évben azonosak. A P-tartalom abszolút értékei azonban észrevehetően alacsonyabbak az első 2 évben (Bezostaja 1), mint az utóbbi 2 évben (Jubilejnaja, Kiszombori). Ez az eltérés minden bizonnyal fajtajelleggel magyarázható, hisz az időjárásban kiugróan extrém évek nem voltak.

34. táblázat A P-műtrágyázás hatása az őszi búzaszem P₂O₅ % tartalmára (80-80 analízis összevont adatai)

Régi P-szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ 1970-73. között					Szd _{5%}	Átlag
	0	40	80	120			
1970 (Bezostaja 1)							
P0	0,57	0,58	0,65	0,65			0,61
P1	0,62	0,64	0,68	0,70	0,04		0,66
P2	0,68	0,73	0,72	0,73			0,72
1971 (Bezostaja 1)							
P0	0,52	0,55	0,57	0,60			0,56
P1	0,56	0,58	0,59	0,61	0,03		0,58
P2	0,63	0,64	0,64	0,64			0,64
1972 (Jubilejnaja)							
P0	0,66	0,70	0,72	0,74			0,70
P1	0,71	0,72	0,76	0,75	0,06		0,74
P2	0,72	0,72	0,81	0,81			0,76
1973 (Kiszombori)							
P0	0,60	0,73	0,80	0,79			0,73
P1	0,69	0,71	0,79	0,83	0,08		0,76
P2	0,73	0,74	0,83	0,81			0,78

A két-két év összevont átlagait a 35. táblázat tünteti fel. Itt is megfigyelhető a P-trágyázás kumulatív hatása. Míg az első két évben a régi P szintek átlagában nagyobb a %-os változás a szemben, addig a második két évben már fordított a helyzet, a friss P hatására a régi P szintek utóhatásait mintegy elmossa a 3. és 4. évre adott friss P. Ugyanez a tendencia a melléktermékek P % tartalmában is fennáll, sőt talán még kifejezettebb a friss P előnye. A pelyvánál a régi P szintek utóhatásai gyengén, míg szalmánál egyáltalán nem voltak kimutathatók az utóbbi 2 év átlagában, amint ez a 36. táblázat adataiból kitűnik.

35. táblázat A P-trágyázás hatása a szem P₂O₅ % tartalmára (Kétéves átlagok, 160-160 analízis összetett adatai)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai (N120 K60)						
P0	0,54	0,56	0,61	0,62	0,58	100
P1	0,59	0,61	0,64	0,66	0,62	107
P2	0,66	0,68	0,68	0,68	0,68	117
Átlag	0,60	0,62	0,64	0,65	0,63	
%	100	103	107	108		
1972-73. átlagai (N200 K100)						
P0	0,63	0,72	0,76	0,76	0,72	100
P1	0,70	0,72	0,78	0,79	0,75	104
P2	0,72	0,73	0,82	0,81	0,77	107
Átlag	0,68	0,72	0,79	0,79	0,75	
%	100	106	116	116		

36. táblázat A P-műtrágyázás hatása a szalma és a pelyva P₂O₅ % tartalmára az 1972-73. évek átlagában

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
Szalma						
P0	0,18	0,22	0,21	0,26	0,22	100
P1	0,18	0,20	0,24	0,26	0,23	105
P2	0,20	0,20	0,26	0,26	0,23	105
Átlag	0,19	0,21	0,24	0,26	0,23	105
%	100	110	126	137	121	
Pelyva						
P0	0,14	0,15	0,16	0,18	0,16	100
P1	0,15	0,16	0,16	0,16	0,16	100
P2	0,13	0,15	0,18	0,17	0,16	100
Átlag	0,14	0,15	0,17	0,17	0,16	100
%	100	107	121	121	114	

A szem N %-a az egyes évek között szignifikánsan változott, a P-trágyázás azonban alig befolyásolta a N-tartalmakat. A P-tartalomhoz hasonlóan az első két évben a N %-ok alacsonyabbak, míg az utóbbi 2 évben a Jubilejnaja és Kiszombori fajtáknál magasabbak mintegy 40 %-kal. A két-két év összevont adatai arról tanúskodnak, hogy a P-trágyázással a szem N tartalma enyhén csökkent, bizonyos hígulás következett be magasabb P szinteken (37. táblázat).

37. táblázat A P trágyázás hatása az őszi búzaszem N-tartalmára (160-160 analízis összevont adata, %)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
1970-71. átlagai (N120 K60)						
P0	1,88	1,82	1,80	1,79		1,82
P1	1,86	1,81	1,78	1,80	0,09	1,82
P2	1,75	1,80	1,74	1,79		1,76
Átlag	1,83	1,81	1,77	1,79	0,04	1,80
1972-73. átlagai (N200 K100)						
P0	2,38	2,30	2,33	2,28		2,32
P1	2,37	2,26	2,23	2,21	0,14	2,28
P2	2,26	2,26	2,30	2,23		2,26
Átlag	2,34	2,27	2,29	2,24	0,09	2,29

A fő- és melléktermékek tápelemtartalmát vizsgálva megállapíthatjuk, hogy a szem %-os N-tartalma 2-3-szorosa, P-tartalma pedig mintegy 4-szerese a pelyva és a szalma tápelem tartalmának. A melléktermékek a P-mérleg szempontjából tehát elhanyagolhatók, míg a K-mérleg számításoknál elsősorban a szalma K-tartalmát kell figyelembe vennünk. A pelyva tápelem tartalma alapján átmenetet képez a szem és a szalma között (38. táblázat).

38. táblázat A növényelemzés összevont adatai az egyes években, % (Az összes parcella átlagában)

NPK %	1970	1971	Átlag	1972	1973	Átlag
Szem						
N %	1,77	1,84	1,80	2,24	2,33	2,29
P ₂ O ₅ %	0,66	0,59	0,62	0,73	0,76	0,74
K ₂ O %	0,36	0,43	0,40	0,48	0,40	0,44
Szalma						
N %	0,72	0,62	0,67	0,71	0,74	0,72
P ₂ O ₅ %	0,16	0,11	0,14	0,17	0,15	0,16
K ₂ O %	0,88	0,82	0,85	0,50	0,68	0,59
Pelyva						
N %	0,57	0,70	0,64	0,78	0,93	0,86
P ₂ O ₅ %	0,14	0,17	0,16	0,19	0,26	0,23
K ₂ O %	0,90	0,78	0,84	0,43	0,45	0,44

Ismeretes, hogy a növények fejlődésükhöz nemcsak a tápelemek optimális koncentrációját, hanem azok kiegyenlített arányát is igénylik. Kísérletünkben 2,5-3,0-szoros N/P₂O₅ túlsúly mutatkozott optimálisnak, míg a 3 feletti N/P₂O₅ alacsony termékekhez kötődött és jelentős P-hiányra utalt a talajban (39. táblázat).

39. táblázat A P-műtrágyázás hatása a szem N/P₂O₅ arányára (Kétéves átlagok, 160-160 analízis összevont adatai)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai (N120 K60)						
P0	3,5	3,3	3,0	2,9	3,2	100
P1	3,2	3,0	2,8	2,7	2,9	91
P2	2,7	2,6	2,6	2,6	2,6	81
Átlag	3,1	3,0	2,8	2,7	2,9	91
%	100	97	90	87	94	
1972-73. átlagai (N120 K100)						
P0	3,8	3,2	3,1	3,0	3,3	100
P1	3,4	3,1	2,9	2,8	3,0	91
P2	3,1	3,1	2,8	2,8	2,9	88
Átlag	3,4	3,1	2,9	2,9	3,1	94
%	100	91	85	85	91	

A szemtermés NPK tartalmának vizsgálati eredményeit - a szemterméssel felvett N, P₂O₅ és K₂O kg·ha⁻¹ mennyiségeit a 40-42. táblázatokban foglaltuk össze. A szemtermés P₂O₅ tartalma a termésszintektől, fajtától és a talaj P-ellátottságától függően 8 és 32, a N tartalom 30 és 89, a K₂O mennyisége pedig 6 és 17 kg·ha⁻¹ között ingadozott. A régi P utóhatásai, illetve az új P növekvő hatásai és a P trágyázás kumulatív jellege különösen a

40. táblázat A szemtermés P-tartalma, P₂O₅ kg·ha⁻¹ (80-80 parcella összevont adatai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai						
P0	8,5	13,9	18,4	20,8	15,4	100
P1	15,6	19,1	22,6	24,7	20,5	133
P2	19,6	23,4	24,4	25,0	23,1	150
Átlag	14,6	18,8	21,8	23,5	19,7	128
%	100	129	149	161	135	
1972-73. átlagai						
P0	10,4	23,0	27,8	28,2	22,4	100
P1	17,1	24,4	30,2	30,4	25,5	114
P2	23,1	28,6	31,2	31,5	28,6	128
Átlag	16,9	25,3	29,7	30,0	25,5	114
%	100	150	176	182	151	

P-forgalom adatain mutatkozik meg élesen. Általában érvényes az a tendencia, amelyet már a terméseredmények bemutatásánál megfigyelhettünk. Az utóbbi 2 évben termesztett fajták N és P forgalma mintegy 20-40 %-kal magasabb az 1970-71. években

termesztett Bezosztaja 1 fajtánál, amely részben a magasabb termésszintekre, részben pedig e tápelemek nagyobb koncentrációjára vezethető vissza a szemben.

41. táblázat A szemtermés N-tartalma, N kg·ha⁻¹ (80-80 parcella összevont adatai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	29,7	45,2	55,2	60,2	47,6	100
P1	49,4	57,2	64,0	68,8	59,8	126
P2	53,0	62,4	63,2	66,0	61,2	129
Átlag	44,0	54,9	60,8	65,0	56,2	118
%	100	125	138	148	128	
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	39,4	73,7	84,4	84,0	70,4	100
P1	57,8	77,4	87,2	85,2	77,0	109
P2	72,2	88,7	87,4	86,8	83,8	119
Átlag	56,5	79,9	86,3	85,3	77,1	110
%	100	141	153	151	136	

42. táblázat A szemtermés K-tartalma, K₂O kg·ha⁻¹ (80-80 parcella összevont adatai)

Régi P-szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlaga (N120K60)						
P0	6,2	9,9	12,3	13,4	10,4	100
P1	10,5	12,6	14,4	15,2	13,2	127
P2	12,0	13,9	14,6	14,8	13,8	133
Átlag	9,6	12,1	13,8	14,5	12,5	120
%	100	126	14,4	151	130	
1972-73. átlaga (N200K100)						
P0	7,2	13,8	15,6	16,0	13,2	100
P1	10,6	14,9	17,0	17,0	14,9	113
P2	14,0	17,2	16,7	17,1	16,2	123
Átlag	10,6	15,3	16,4	16,7	14,8	112
%	100	144	155	157	140	

A melléktermékek - szalma, pelyva - P tartalmáról a 43. táblázat tájékoztat. Az 1972-73. évek átlagait reprezentáló adatok elsősorban az új P előnyéről tanúskodnak. A pelyva P₂O₅ tartalma 1-3 kg·ha⁻¹, míg a szalmáé 3-8 kg·ha⁻¹ között ingadozott a P-szintek függvényében, tehát az őszi búza P-forgalmát alapvetően a szem P-tartalma határozza meg.

43. táblázat A P-műtrágyázás hatása a pelyva és a szalma P tartalmára (1972-73. évek átlagai)

Régi P-szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
Pelyva						
P0	1,1	2,3	2,3	2,9	2,1	100
P1	1,4	2,1	2,6	2,9	2,3	110
P2	1,9	2,2	2,7	2,8	2,4	114
Átlag	1,5	2,2	2,5	2,9	2,3	110
%	100	147	167	193	153	
Szalma						
P0	3,3	5,1	6,5	7,5	5,6	100
P1	4,8	6,3	7,0	7,2	6,6	118
P2	4,8	6,7	7,5	7,2	6,6	118
Átlag	4,3	6,0	7,0	7,2	6,1	109
%	100	140	163	167	142	

Melléktermék/főtermék arányának alakulása

A szem és a hozzá tartozó szalma és pelyva melléktermékek aránya a fajra jellemző, genetikailag meghatározott. A környezeti tényezők mint pl. a trágyázás azonban bizonyos mértékig módosíthatják a fő-/melléktermék arányát és ezzel javíthatják a műtrágyák és a víz hasznosulását 1 q szemtermésre vetítve. A P műtrágyázás ilyen irányú hatását a 44-48. táblázatokban tanulmányozhatjuk.

44. táblázat A P-trágyázás hatása a pelyva/szem arányára(80-80 parcella összevont adatai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	0,44	0,38	0,44	0,36	0,40	100
P1	0,40	0,37	0,39	0,36	0,36	90
P2	0,41	0,36	0,32	0,32	0,35	88
1971. (Bezostaja 1.)						
P0	0,36	0,26	0,21	0,24	0,26	100
P1	0,26	0,23	0,22	0,20	0,23	88
P2	0,24	0,23	0,21	0,20	0,22	85
1972. (Jubilejnaja)						
P0	0,44	0,37	0,34	0,32	0,37	100
P1	0,38	0,35	0,30	0,30	0,33	89
P2	0,32	0,31	0,29	0,29	0,30	81
1973. (Kiszombori)						
P0	0,34	0,29	0,28	0,28	0,30	100
P1	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	90
P2	0,27	0,25	0,26	0,28	0,26	87

44. táblázat folytatása

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	0,40	0,32	0,32	0,30	0,33	100
P1	0,33	0,30	0,31	0,28	0,30	91
P2	0,32	0,30	0,27	0,26	0,28	84
Átlag	0,35	0,31	0,30	0,28	0,31	
%	100	88	86	80		
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	0,39	0,33	0,31	0,30	0,34	100
P1	0,32	0,31	0,28	0,28	0,30	88
P2	0,30	0,28	0,28	0,28	0,28	82
Átlag	0,34	0,31	0,29	0,29	0,31	
%	100	91	85	85		

A pelyva/szem aránya évenként is változott. Az első és a kísérlet harmadik évében a pelyva aránya magasabb, míg a viszonylag szárazabb 1971. és 1973. években alacsonyabb volt. Hasonló tendencia a szalma/szem arányánál is megfigyelhető. Ismeretes, hogy a vegetatív növényi részek mint pl. a szalma, pelyva is jobban hasznosítani képesek a csapadék vizeket mint a generatív szem. A P-trágyázás ugyanakkor minden évben csökkentette a pelyva/szem arányát. Ez a csökkenés a P kontrollhoz viszonyítva elég jelentős és elérte egyes években a 30-40 %-ot. A pelyva termése ezért nem követi a szemtermés emelkedését az egyes P szinteknek megfelelően, hanem elmarad attól, különösen a kísérlet első két évében (44. és 45. táblázat).

45. táblázat A P-műtrágyázás hatása az őszi búza pelyva termésére (86 % szárazanyagra számítva, t·ha⁻¹)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	0,62	0,79	1,06	0,99	0,86	100
P1	1,02	1,04	1,2	1,12	1,10	128
P2	1,07	1,00	0,97	1,01	1,01	117
1971. (Bezostaja 1)						
P0	0,62	0,74	0,77	0,95	0,77	100
P1	0,71	0,80	0,88	0,86	0,81	105
P2	0,82	0,95	0,88	0,84	0,87	113
1972. (Jubilejnaja)						
P0	0,60	0,97	0,96	1,08	0,90	100
P1	0,83	1,07	1,03	1,15	1,02	113
P2	1,01	1,16	1,08	1,11	1,09	121

45. táblázat folytatása

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1973. (Kiszombori)						
P0	0,67	1,09	1,23	1,11	1,03	100
P1	0,73	1,02	1,18	1,05	1,00	97
P2	0,86	1,03	1,01	1,03	0,98	95
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	0,62	0,76	0,92	0,97	0,82	100
P1	0,86	0,92	1,05	0,99	0,96	117
P2	0,94	0,98	0,92	0,92	0,94	115
Átlag	0,81	0,87	0,96	0,96	0,90	110
%	100	107	119	119	111	
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	0,63	1,03	1,09	1,10	0,97	100
P1	0,78	1,04	1,10	1,10	1,01	104
P2	0,93	1,10	1,04	1,07	1,04	107
Átlag	0,78	1,06	1,08	1,09	1,01	104
%	100	136	138	140	129	

46. táblázat A P-műtrágyázás hatása a szalma/szem arányára (80-80 mintakéve átlagai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	0,9	1,0	1,2	1,0	1,0	100
P1	0,8	1,1	1,1	1,0	1,0	100
P2	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	100
1971. (Bezostaja 1)						
P0	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	100
P1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	100
P2	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8	100
1972. (Jubilejnaja)						
P0	2,2	1,6	1,5	1,4	1,7	100
P1	1,8	1,6	1,4	1,3	1,5	88
P2	1,4	1,4	1,3	1,3	1,4	82
1973. (Kiszombori)						
P0	0,9	0,7	0,9	0,9	0,9	100
P1	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	100
P2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	100

46. táblázat folytatása

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	100
P1	0,8	1,0	1,0	0,9	0,9	100
P2	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	100
Átlag	0,8	0,9	1,0	0,9	0,9	
%	100	112	125	112		
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	1,6	1,2	1,2	1,2	1,3	100
P1	1,4	1,2	1,2	1,1	1,2	92
P2	1,2	1,2	1,1	1,1	1,2	92
Átlag	1,4	1,2	1,2	1,1	1,2	
%	100	86	86	79		

47. táblázat A P-műtrágyázás hatása a szalma termésére (86 % szárazanyagra számítva, t·ha⁻¹)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	1,28	2,08	2,89	2,76	2,25	100
P1	2,05	3,10	3,44	3,32	3,00	133
P2	2,36	2,77	3,05	3,16	2,83	126
1971. (Bezostaja 1)						
P0	1,38	2,29	2,58	3,15	2,35	100
P1	2,19	2,79	3,23	3,44	2,91	124
P2	3,06	3,32	3,37	3,38	3,28	140
1972. (Jubilejnaja)						
P0	2,99	4,19	4,23	4,70	4,03	100
P1	3,92	4,88	4,82	4,98	4,65	115
P2	4,45	5,25	4,84	4,98	4,88	121
1973. (Kiszombori)						
P0	1,76	2,65	3,96	3,58	2,99	100
P1	2,44	3,41	3,92	3,49	3,31	111
P2	2,87	3,70	3,50	3,55	3,40	114
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	1,33	2,18	2,74	3,00	2,30	100
P1	2,12	2,95	3,34	3,38	2,95	128
P2	2,71	3,05	3,21	3,27	3,06	133
Átlag	2,05	2,73	3,10	3,22	2,78	121
%	100	133	151	157	136	

47. táblázat folytatása

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1972-74. átlagai (N200K100)						
P0	2,38	3,42	4,10	4,14	3,51	100
P1	3,18	4,15	4,37	4,24	3,98	113
P2	3,66	4,47	4,17	4,26	4,14	118
Átlag	3,07	4,01	4,21	4,21	3,98	111
%	100	131	137	137	126	

48. táblázat A P-műtrágyázás hatása a melléktermék/főtermék arányára (80-80 parcella összevont adatai)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Berzosztaja 1)						
P0	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	100
P1	1,3	1,3	1,3	1,3	1,3	93
P2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	86
1971. (Bezosztaja 1)						
P0	1,3	1,1	0,9	1,0	1,1	100
P1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	91
P2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	91
1972. (Jubilejnaja)						
P0	2,7	2,0	1,8	1,7	2,1	100
P1	2,1	2,0	1,6	1,6	1,8	86
P2	1,7	1,7	1,6	1,6	1,6	76
1973. (Kiszombori)						
P0	1,2	1,0	1,2	1,2	1,2	100
P1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	100
P2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	100
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	100
P1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	100
P2	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	92
Átlag	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	100
%	100	92	92	92	92	
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	2,0	1,5	1,5	1,4	1,6	100
P1	1,6	1,6	1,4	1,4	1,5	94
P2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	88
Átlag	1,7	1,5	1,4	1,4	1,5	94
%	100	88	82	82	88	

A melléktermék/főtermék, azaz a szalma + pelyva/szem aránya minden évben jelentősen nagyobb 1-nél a P-ral nem trágyázott parcellákon, az évtől és a fajtától függően 1,2-2,7 között ingadozott, míg a P-ral jól ellátott talajokon ez az érték 1,0-1,6 körülire süllyedt (48. táblázat). A továbbiakban megkíséreljük bemutatni, hogyan változott az 1 q szem előállításához szükséges NPK mennyisége különböző P ellátottságú talajon. Amint a melléktermék/főtermék aránya mutatja, ha a P minimumba kerül a talajban, ez az összes szárazanyag produkció számunkra kedvezőtlen megoszlásához vezethet a főtermék rovására.

Az összes terméssel felvett N mennyisége 40-140 kg·ha⁻¹ között ingadozott az évtől és főként a P-kezelésektől függően. A kísérletek átlagában vett N-hozam évről évre nőtt, így 1970-ben kereken 73, 1971-ben 87, 1972-ben 107 és 1973-ban 121 kg·ha⁻¹ -t tett ki. Ez utóbbi jelenség a megemelt NK alaptrágyázásra, valamint a Jubilejnaja és a Kiszombori fajták magasabb N-felvételére vezethető vissza, bár részben az enyhén emelkedő általános termésszint is ilyen irányban hatott. A friss P hatása mind az első, mind a kísérlet második két összevont évét tekintve kifejezettebb, mint a régi P hatása (49. táblázat).

49. táblázat A P műtrágyázás hatása az őszi búza N hozamára (N kg·ha⁻¹ a szem+szalma+pelyva termésben)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	40,5	60,0	69,0	78,5	62,0	100
P1	70,0	75,5	83,5	90,5	79,9	129
P2	68,0	74,0	79,0	86,0	76,8	124
1971. (Bezostaja 1)						
P0	47,0	72,0	88,0	96,0	75,8	100
P1	71,0	84,5	95,5	104,0	88,8	117
P2	84,0	99,0	100,0	98,0	95,2	126
1972. (Jubilejnaja)						
P0	63,5	99,5	100,8	118,0	95,4	100
P1	84,5	109,5	114,5	124,0	108,1	113
P2	104,0	121,0	126,0	124,0	118,8	125
1973. (Kiszombori)						
P0	63,3	116,9	146,3	131,5	114,5	100
P1	89,6	140,9	140,9	125,8	124,3	108
P2	101,8	131,4	131,1	128,1	123,1	108

49.táblázat folytatása

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
	1970-71. átlagai (N120 K60)					
P0	43,8	66,0	78,5	87,2	68,9	100
P1	70,5	80,0	89,5	97,2	84,3	122
P2	76,0	86,5	89,5	92,0	86,0	125
Átlag	63,4	77,5	85,8	92,1	79,7	
%	100	122	135	145		
	1972-73. átlagai (N200 K100)					
P0	63,4	108,2	123,4	124,8	104,9	100
P1	87,0	125,2	127,7	124,9	116,2	111
P2	102,9	126,2	128,6	126,0	121,0	
Átlag	84,4	119,9	126,5	125,2	114,0	
%	100	142	150	148		

Az évektől, fajtától és alapvetően a kezelésektől függően a P hozama 11-42 kg P₂O₅ ha⁻¹, míg a K hozama 21-55 kg K₂O ha⁻¹ között ingadozott. A két éves átlagok jól tükrözik a friss P növekvő kumulatív hatását. Amíg az 1970-71. évek átlagában a régi és az új P kezelések hatására közel azonos mértékben nőtt meg a P és a K hozama, addig az 1962-73. évek átlagában az új P hatása lényegesen kifejezettebb a P és K felvételben mint a régi P hatása (50. és 51. táblázatok).

Az 1t szem és a hozzá tartozó szalma melléktermék tápanyag-tartalmát - azaz a fajlagos, 1 t szemtermés előállításához szükséges NPK mennyiségét - vizsgálva a következő főbb megállapítások tehetők:

A fajlagos N-tartalom függ a fajtától. Míg pl. a szűk szem/szalma arányú Bezostaja fajta fajlagos N-tartalma 23-29 kg N között változott a P-trágyázástól és az évtől függően, addig a tágabb szem/szalma aránnyal rendelkező Jubilejnaja fajlagos N-tartalma a P-kezelésektől függően 32-47 kg N között alakult. Azonos szemtermések eléréséhez tehát a Jubilejnaja fajta magasabb szintű N trágyázást igényel (52. táblázat).

A P-trágyázás a fajtától függően eltérő módon befolyásolta a fajlagos N-igényt. Amikor a P erős minimuma nyilvánult meg a 9-12 éven át nem trágyázott kontroll parcellákon, a fajlagos N felhasználás a Jubilejnaja fajtánál mintegy 30, Bezostaja fajtánál pedig 10-15 %-kal nőtt. A Kiszombori fajta nem reagált a P-trágyázásra ilyen tekintetben (52. táblázat).

A fajlagos P-tartalom általában 10-15 %-kal nőtt a talaj javuló P-ellátottsága következtében, ez alól csak a tág szem/szalma arányát módosító Jubilejnaja fajta volt kivétel. Ez utóbbi fajtánál a fajlagos P-tartalom lényegében nem változott, illetve enyhén csökkent P trágyázás hatására. A fajták közötti eltéréseket tekintve legalacsonyabb volt a Kiszombori, legmagasabb pedig a Jubilejnaja fajlagos P-tartalma, míg a Bezostaja közbülső helyet foglalt el (53. táblázat).

50. táblázat. A P-műtrágyázás hatása az őszi búza P hozamára (P₂O₅ kg·ha⁻¹ szem+szalma+pelyva termésében)

szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
1970. (Bezostaja 1)						
P0	11,8	16,9	20,8	23,8		18,0
P1	21,8	24,6	28,0	30,8	5,8	26,3
P2	24,0	26,8	28,8	30,3		27,5
1971. (Bezostaja 1)						
P0	11,4	19,6	25,0	28,2		21,0
P1	19,2	24,6	28,2	31,8	4,1	26,2
P2	26,5	32,0	32,5	32,5		30,9
1972. (Jubilejnaja)						
P0	15,0	27,2	29,6	36,2		27,0
P1	22,5	32,6	38,4	39,8	6,5	32,3
P2	30,4	35,3	40,5	41,8		37,0
1973. (Kiszombori)						
P0	11,8	27,6	35,2	31,4		26,5
P1	18,7	26,9	34,4	32,2	6,0	28,0
P2	23,3	30,4	32,3	32,0		29,5
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	11,6	18,2	22,9	26,0	19,7	100
P1	20,5	24,6	28,1	31,3	26,1	132
P2	25,2	29,4	30,6	31,4	29,2	148
Átlag	19,1	24,1	27,2	29,6	25,0	127
%	100	126	142	155	131	
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	13,4	27,4	32,4	33,8	26,8	100
P1	20,6	29,8	36,4	36,0	30,7	115
P2	26,8	32,8	36,4	36,9	33,2	124
Átlag	20,3	30,0	35,1	35,6	30,2	113
%	100	148	173	175	149	

51. táblázat. A P-mútrágyázás hatása az őszi búza K hozamára (K₂O kg·ha⁻¹ a szem+szalma+pelyva termésében)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	21,5	32,0	37,0	42,0	33,1	100
P1	38,0	41,5	45,5	50,0	44,0	133
P2	38,0	41,0	45,0	46,0	43,0	130
1971. (Bezostaja 1)						
P0	24,0	35,5	41,5	47,5	37,1	100
P1	36,0	40,0	46,0	50,5	43,1	116
P2	48,0	52,0	55,0	52,0	52,0	140
1972. (Jubilejnaja)						
P0	29,5	42,5	38,0	43,5	38,0	100
P1	34,5	44,0	43,0	42,5	41,0	108
P2	36,0	45,0	47,0	49,0	44,0	116
1973. (Kiszombori)						
P0	21,4	39,5	50,0	46,7	39,4	100
P1	31,9	45,7	51,5	47,1	44,0	112
P2	37,4	49,4	51,7	48,6	46,8	119
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	22,8	33,8	39,2	44,8	35,1	100
P1	37,0	40,8	45,8	50,2	43,5	124
P2	43,0	46,0	50,0	49,0	47,0	134
Átlag	34,3	40,2	45,3	48,0	42,0	120
%	100	117	132	140	122	
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	25,4	41,0	44,0	45,1	38,9	100
P1	33,2	44,8	47,2	44,8	42,5	109
P2	36,7	47,2	49,4	48,8	45,4	117
Átlag	31,8	44,3	46,9	46,2	42,2	108
%	100	139	147	145	133	

52. táblázat A P-műtrágyázás hatása az őszi búza fajlagos N tartalmára (1 t szem és a hozzá tartozó melléktermékek N tartalma, kg)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	28,5	28,8	28,6	28,4	28,6	100
P1	27,3	26,8	26,7	27,2	27,0	94
P2	25,8	26,7	25,9	27,2	26,4	92
1971. (Bezostaja 1)						
P0	27,3	25,1	23,8	24,3	25,2	100
P1	25,9	24,2	23,6	24,2	24,5	97
P2	24,7	23,9	23,8	23,2	23,9	95
1972. (Jubilejnaja)						
P0	46,7	37,9	37,2	35,1	39,2	100
P1	38,8	35,9	33,3	32,4	35,1	90
P2	32,7	32,3	33,9	32,4	33,3	85
1973. (Kiszombori)						
P0	32,3	30,9	33,3	33,0	32,4	100
P1	33,1	37,2	32,3	32,4	33,7	104
P2	31,9	32,0	33,7	32,4	32,5	100
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	27,9	26,9	26,2	26,4	26,9	100
P1	26,6	25,5	25,2	25,7	25,8	96
P2	25,2	25,3	24,8	25,2	25,2	94
Átlag	26,6	25,9	25,4	25,8	26,0	
%	100	97	95	97		
1972-73. év átlagai (N200K100)						
P0	39,5	34,4	35,2	34,0	35,8	100
P1	35,9	36,5	32,8	32,4	34,4	96
P2	32,3	32,2	33,8	32,4	32,0	92
Átlag	35,9	34,4	33,9	32,9	34,3	
%	100	96	94	92		

53. táblázat. A P műtrágyázás hatása az őszi búza fajlagos P tartalmára (1 t szem és a hozzá tartozó melléktermékek P₂O₅ tartalma, kg)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ k kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	8,3	8,1	8,6	8,6	8,4	100
P1	8,5	8,7	8,9	9,3	8,8	105
P2	9,1	9,7	9,4	9,6	9,4	112
1971. (Bezostaja 1)						
P0	6,6	6,9	6,8	7,2	6,9	100
P1	7,0	7,0	7,0	7,4	7,1	103
P2	7,8	7,7	7,7	7,7	7,7	112
1972. (Jubilejnaja)						
P0	11,0	10,4	10,5	10,7	10,6	100
P1	10,3	10,7	11,2	10,4	10,6	100
P2	9,6	9,4	10,9	10,9	10,2	96
1973. (Kiszombori)						
P0	6,0	7,3	8,0	7,9	7,3	100
P1	6,9	7,1	7,9	8,3	7,6	104
P2	7,3	7,4	8,3	8,1	7,8	107
1970-71. átlagai						
P0	7,5	7,5	7,7	7,9	7,6	100
P1	7,8	7,8	8,0	8,4	8,0	105
P2	8,5	8,7	8,6	8,6	8,6	113
Átlag	7,9	8,0	8,1	8,3	8,1	
%	100	101	102	105		
1972-73. átlagai						
P0	8,5	8,8	9,2	9,3	9,0	100
P1	8,6	8,9	9,5	9,4	9,1	101
P2	8,4	8,4	9,6	9,5	9,0	100
Átlag	8,5	8,7	9,4	9,4	9,0	
%	100	102	111	111		

A fajlagos K tartalmakat a P trágyázás eltérően befolyásolta, amely a szem/szalma arány fajtánként eltérő alakulásával függött össze. Így pl. a Kiszombori fajtánál - ahol a melléktermék/főtermék aránya nem változik a P-kezelések hatására - a fajlagos K tartalom nőtt, ugyanakkor a Jubilejnaja fajtánál erősen szűkülő melléktermék-

/főtermék aránya mellett a fajlagos K tartalom 20-40 %-kal csökken. A négy kísérleti év átlagában a fajlagos K felhasználás az adott fajták mellett csökkenő volt (54. táblázat).

54. táblázat. A P műtrágyázás hatása az őszi búza fajlagos K tartalmára (1t szem és a hozzá tartozó melléktermékek K tartalma, kg/K₂O)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	15,1	15,4	15,4	15,2	15,3	100
P1	14,8	14,7	14,5	15,1	14,8	97
P1	14,4	14,8	14,8	17,7	15,4	101
1971. (Bezostaja 1)						
P0	13,9	12,4	11,2	12,1	12,4	100
P1	13,1	11,5	11,3	11,7	11,9	96
P2	14,1	12,5	13,1	12,3	13,0	105
1972. (Jubilejnaja)						
P0	21,7	16,2	13,5	12,9	16,1	100
P1	15,8	14,4	12,5	11,1	13,4	83
P2	11,3	12,0	12,6	12,8	12,2	76
1973. (Kiszombori)						
P0	10,9	10,5	11,4	11,7	11,1	100
P1	11,7	12,1	11,8	12,1	11,9	107
P2	11,7	12,0	13,3	12,3	12,3	111
1970-71. átlagai (N120K60)						
P0	14,5	13,9	13,3	13,6	13,8	100
P	14,0	13,1	12,9	13,4	13,4	97
P2	14,2	13,6	14,0	15,0	14,2	100
Átlag	14,2	13,5	13,4	14,0	13,8	
%	100	95	94	98		
1972-73. átlagai (N200K100)						
P0	16,3	13,4	12,4	12,3	13,6	100
P1	13,7	13,2	12,2	11,6	12,6	93
P2	11,5	12,0	13,0	12,6	12,2	90
Átlag	13,8	12,9	12,5	12,2	12,8	
%	100	93	90	88		

A P mérlegek alakulása az egyes kezelésekben

Az egyes kezelésekben felhasznált műtrágya-P mennyiségek, valamint a növény által kivont P ismerete alapján felállítottuk a különböző P kezelések P mérlegeit. Amennyiben a szalma a parcellán maradt és elégetés után a talajba került, csak a szemmel kivont P tartalmakkal számoltunk. Amint az 55. táblázat adataiból látható a kontroll parcellák P-mérlege egyre negatívabbá válik, míg a rendszeresen trágyázottaké egyre pozitívabbá. A kísérlet 12. évében a P mérleg -170 és +643, azaz 813 kg P₂O₅ ha⁻¹ különbség között változott a két szélsőértéket tekintve. A tápanyag-mérleg adatai utalnak a legmegbízhatóbban az egyes kezelések talajai között a P-ellátottságban fennálló különbségekre.

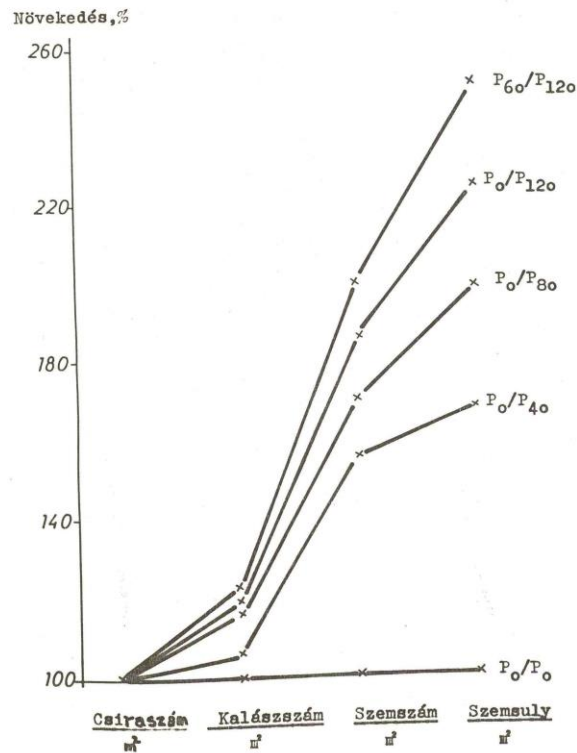
55. táblázat A P mérleg alakulása az egyes kezelésekben P₂O₅ kg·ha⁻¹ (80-80 parcella összevont adatai vetéskor)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	Differencia
1969 őszen						
P0	-145	-102	-58	-18	-80	-
P1	35	74	118	155	96	176
P2	242	277	322	364	301	381
1970 őszen						
P0	-153	-74	-6	84	-37	-
P1	18	96	176	251	135	172
P2	224	296	380	460	340	177
1971 őszen						
P0	-162	-50	65	180	8	-
P	14	116	232	345	174	182
P2	202	310	433	554	375	383
1972 őszen						
P0	-170	-28	121	270	48	-
P1	-23	121	273	423	198	246
P2	179	323	482	643	407	455
1970-71 átlagai						
P0	-149	-88	-32	33	-58	-
P1	26	85	147	203	115	173
P2	233	286	351	412	321	379
Átlag	37	94	155	216	126	
1972-73 átlagai						
P0	-166	-39	93	225	28	-
P1	10	118	252	384	191	219
P2	190	316	458	598	390	418
Átlag	11	132	268	402	203	

Biológiai terméslemezés

A műtrágyák hatását általában a szemtermésen, esetleg még a szalmatermésen mérjük. A termés azonban a növény fejlődésének csak végterméke és csupán a termés méréséből nem tudhatjuk, hogy a műtrágya melyik fejlődési szakaszban hogyan és milyen irányban hatott. Ezért indokoltnak látszik a P hatását a fejlődés egésze folyamán figyelemmel kísérni.

Az értékelést kumulatív terméslemezéssel is elvégeztük (SVÁB 1961, 1962, PAPP et al. 1965). Ez abban tér el a szokásos terméslemezéstől, hogy minden terméslemezést területegységre vonatkoztatunk. Ezek a csíraszám/m², kalászsám/m², szemszám/m², szemtömeg/m². A kalászsám/m² adatokat parcellánkénti 4 fm mintaterről, a szemtermés g/m² adatokat a teljes parcellatermés adatokból, a szemszám/m² adatokat a szemtermés g/m² és az ezerszem tömeg hányadosából határoztuk meg.



3. ábra

A P-műtrágyázás hatása az őszi búza fejlődésmentére
Nagyhorcsög, 1970-72. 1.2. kísérlet (240 adat átlaga)

A kumulatív terméslemezéssel lehetőség nyílik a növényállomány fejlődésének grafikus ábrázolására is, minthogy az említett terméslemez egy-egy fejlődési fázis végtermékei és szigorúan meghatározott sorrendben alakulnak ki. A fejlődés menet grafikus ábrázolásán a vízszintes tengely a fejlődés sorrendjében a m²-re vonatkoztatott terméslemez mint a fejlődési fázis végtermékeit, a függőleges tengely a terméslemeznek az összehasonlítási alapra vonatkoztatott százalékos változását jelöli. Az összehasonlítási alapot = 100 %, esetünkben a P-ral nem trágyázott kontroll jelenti (3. ábra). Példaképpen a továbbiakban 3 év adatait mutatjuk be.

Az 1 m²-re eső kalászsám alakulásáról az 56. táblázat tájékoztat. Az elvetett csíraszám az egész kísérletben azonos volt. Amint a táblázat adatai mutatják a P-trágyázás jelentősen, átlagosan mintegy 20 %-kal növelte az 1 m²-re eső kalászkok számát a P-ral nem trágyázott kezeléshez viszonyítva. Ez az átlag azonban évenként nagy különbségeket takar. Így pl. a szárazabb 1970. évben a kontroll parcella 264 db/m² kalászsám P trágyázás hatására eléri a 400 db/m² értéket, az emelkedés közel 50 %-os, míg a kedvezőbb csapadékeloszlású 1971. évben az emelkedés mindössze 10 % körüli volt.

56. táblázat A P-trágyázás hatása a kalászsám alakulására (80-80 mintakéve összevont adatai, db/m²)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970 (Bezostaja 1)						
P0	264	300	360	348	318	100
P1	298	364	412	350	356	112
P2	284	322	358	400	340	107
1971 (Bezostaja 1)						
P0	448	462	506	524	484	100
P1	450	458	518	540	492	102
P2	430	512	528	508	494	102
1970-71 átlagai						
P0	356	381	433	436	402	100
P1	374	411	465	445	424	105
P2	357	417	443	454	418	104
Átlag	362	403	447	445	414	103
%	100	111	123	123	114	
1972 (Jubilejnaja)						
P0	368	380	386	402	384	100
P1	320	386	398	454	390	102
P2	434	464	432	414	436	114
Átlag	374	410	405	423	403	105
%	100	110	108	113	108	

* Mintafeldolgozáskor mért adatokból

Az éveket tekintve megállapítható, hogy a szárazabb 1970., 1972. évek kisebb szemtermésével kevesebb kalászsám járt együtt, bár a kalászsám %-os növekedései a

kontroll parcellához viszonyítva, tehát a P trágyázás hatásai ekkor a legnagyobbak. A kedvezőbb csapadékeloszlású évben nagyobb volt a szemtermés és a kalászsám egységnyi területre vetítve, azonban kisebb P hatásokat figyelhetünk meg ebben a fejlődési fázisban. Megállapításaink összhangban vannak azokkal a kísérleti-tapasztalati megfigyelésekkel, hogy a P-hatások különösen kora tavasszal szárbainduláskor-bokrosodás végén feltűnőek és elsősorban száraz években, amikor a talaj tápanyagai rosszul oldódnak. Ilyenkor a kellő intenzitású hő és fény tényezőket a növény víz és tápanyag hiányában nem tudja kellően hasznosítani.

57. táblázat A P-trágyázás hatása a szemszám alakulására* (80-80 mintakéve összevont adatai, 1000 db/m²)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	4,3	6,6	7,0	7,6	6,4	100
P1	7,0	7,7	8,5	8,6	7,9	123
P2	7,1	7,3	8,2	8,1	7,6	119
1971. (Bezostaja 1)						
P0	5,8	8,4	9,6	10,7	8,6	100
P1	8,4	9,6	10,6	11,2	10,0	116
P2	9,7	10,5	10,8	10,6	10,4	121
1970-71. átlaga						
P0	5,0	7,5	8,3	9,2	7,5	100
P1	7,7	8,6	9,6	9,9	9,0	120
P2	8,4	8,9	9,5	9,3	9,0	120
Átlag	7,0	8,3	9,1	9,5	8,5	113
%	100	119	130	136	121	
1972. (Jubilejnaja)						
P0	9,1	10,3	10,8	11,8	9,7	100
P1	8,9	11,0	11,6	12,7	11,1	114
P2	11,3	12,3	13,0	13,6	12,6	130
Átlag	8,8	11,2	11,8	12,7	11,1	114
%	100	127	134	144	126	

* Szemtermés, g/m²

A talaj tápanyag ellátottságának már 2-3 leveles stádiumban döntő hatása van a későbbi termésképzésre, ugyanis már ekkor befolyásolja a bokrosodást és ezzel a kalászt hozó szárok számának kialakulását. Ha a táplálkozás ebben a stádiumban elégtelen, csökken a jól fejlett szalmaszárok és a telt kalászcok száma. Tehát már ebben a korai stádiumban elkövetett mulasztások a tápanyagellátásban olyan termésnövekedést idézhetnek elő, amelyet a későbbi bőséges táplálás sem tud már jóvátenni (MENGEL 1976, HEYLAND 1961).

Közép-európai viszonyok között a gabonaszemtermés mennyiségét a területegységre jutó kalászt hozó szárok száma is befolyásolja. Nagy termés 5,0-7,0 t·ha⁻¹ szemtermés csak akkor érhető el, ha m²-enként legalább 500-600 kalász van. A

nagyszámú kalászt hozó szár azonban szükségessé teszi a növény jó vízellátását is, hiszen a sűrű növényállomány vízigénye nagyobb mint a ritkábbé. Víziány esetén az érés ideje lerövidül, az ezerszem tömeg és a kalásonkénti szemszám csökkenhet (MENGEL 1976).

Az 1 m²-re eső szemek számát az 57. táblázatban mutatjuk be az egyes kísérleti évek, valamint a P-trágyázás függvényében. A P-trágyázás hatására a szemszám minden évben közel megduplázódik. Az évek közötti eltérések kevéssé kifejezettek. A bőséges P ellátottság kedvezően hat tehát a szemképződésre, amely még a szárbaszökés szakaszára vezethető vissza. Mint említettük a tápanyagigény a bokrosodást követő szakaszban, a szárbaingulásban a legnagyobb, ezért hálálja meg minden évben a növény a bőséges P-ellátottságot.

Az 58. táblázatban összehasonlítás céljából feltüntettük az 1970. és 1971. években a mintakévékből számított szemszámokat is, amelyek jó egyezést mutatnak az 57. táblázat adataival. Érdeemes megemlíteni, hogy a friss P hatása már az első két év átlagaiban meghaladja a régi P-nak a mintakévék szemszámára kifejtett hatását.

Az 1 m²-re eső szemek számát az 57. táblázatban mutatjuk be az egyes kísérleti évek, valamint a P-trágyázás függvényében. A P-trágyázás hatására a szemszám minden évben közel megduplázódik. Az évek közötti eltérések kevéssé kifejezettek. A bőséges P ellátottság kedvezően hat tehát a szemképződésre, amely még a szárbaszökés szakaszára vezethető vissza. Mint említettük a tápanyagigény a bokrosodást követő szakaszban, a szárbaingulásban a legnagyobb, ezért hálálja meg minden évben a növény a bőséges P-ellátottságot.

Az 58. táblázatban összehasonlítás céljából feltüntettük az 1970. és 1971. években a mintakévékből számított szemszámokat is, amelyek jó egyezést mutatnak az 57. táblázat adataival. Érdeemes megemlíteni, hogy a friss P hatása már az első két év átlagaiban meghaladja a régi P-nak a mintakévék szemszámára kifejtett hatását.

58. táblázat A P trágyázás hatása a mintakéve szemszámára* az 1970-71. években (80-80 mintakéve összevont adatai, 1000 db/m²)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	4,6	6,4	6,6	7,2	6,2	100
P1	7,2	7,4	7,7	7,5	7,5	121
P2	5,2	6,6	8,4	9,5	7,4	119
1971. (Bezostaja 1)						
P0	6,7	8,5	10,6	10,6	9,1	100
P1	8,7	9,4	11,0	11,3	10,1	111
P2	8,8	10,7	11,0	11,2	10,4	114
1970-71. átlagai						
P0	5,6	7,4	8,6	8,9	7,6	100
P1	8,0	8,4	9,4	9,4	8,8	116
P2	7,0	8,6	9,7	10,4	8,9	117
Átlag	6,9	8,1	9,2	9,6	8,4	111
%	100	117	133	139	122	

* Mintakéve szemszálya, g/m² / 1000 szemtömeg, g

Az egy kalászban levő szemek számát vizsgálva megállapítható, hogy míg a Bezostaja 1 fajtánál a P trágyázás átlagos szemszám növelő hatása a P kontrollhoz viszonyítva 30-40 % körüli, addig a Jubilejnaja fajtánál az egy kalászban levő szemek száma a P trágyázás hatására közel megduplázódik. A P trágyázás tehát az utóbbi esetben a Bezostaja 1 fajtától eltérően elsősorban nem a kalászszaámot, hanem az egy kalászban levő szemszámot növelte. Az egységnyi területre vetített szemek számát tekintve a Jubilejnaja fajta átlagosan 1/3-ával meghaladja a Bezostaja 1 fajtát (59. táblázat).

59. táblázat. A P trágyázás hatása az egy kalászban levő szemek számára* (80-80 mintakéve összevont adatai, db)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	16,2	21,9	19,5	21,8	20,0	100
P1	23,4	21,1	20,5	24,5	22,2	111
P2	25,0	22,5	22,8	20,2	22,5	112
1971. (Bezostaja 1)						
P0	12,9	18,1	19,0	20,3	17,8	100
P1	18,6	20,9	20,5	20,8	20,2	113
P2	22,5	20,5	20,5	20,9	21,0	118
1970-71. átlagai						
P0	14,6	20,0	19,2	21,0	18,9	100
P1	21,0	21,0	20,5	22,6	21,2	112
P2	23,8	21,5	21,6	20,6	21,8	115
Átlag	19,8	20,8	20,4	21,4	20,6	
%	100	105	103	108		
1972. (Jubilejnaja)						
P0	16,5	27,1	27,8	29,4	25,4	100
P1	27,9	28,6	29,2	28,1	28,4	112
P2	26,0	26,6	30,0	32,9	28,8	113
Átlag	23,4	27,4	29,0	30,1	27,5	
%	100	117	124	129		

* Szemszám, 1000 db/m² / Kalászszaám, db/m²

Az ezerszem tömeg alakulása lényegében a virágzástól az érés befejezéséig tartó generatív szakasz körülményeit tükrözi. A generatív szakaszra a tartalékanyagoknak a szembe történő beraktározódása a jellemző, ami 2/3 részben a legfelső levélnek, 1/3 részben pedig magának a kalásznak az asszimilációjából származik (MENGEL 1976). A 60. táblázatból látható, hogy a P trágyázás fajtától és évtől függetlenül átlagosan mintegy 30 %-kal növelte az őszi búza ezerszemsúlyát. Az egyes terméselemek közötti negatív korreláció, illetve a termés kiegyenlítésére irányuló törekvés nyilvánult meg azonban a fajták között is, amennyiben a Jubilejnaja fajta igen magas szemszáma igen alacsony ezerszemsúlyal párosult. Ebből eredően - lásd a 61. táblázat adatait - az egy kalászban levő szemek súlya a két vizsgált fajta között már eléggé közelálló, kiegyenlített.

60. táblázat A P trágyázás hatása az őszi búza ezerszemsúlyára, g (80-80 parcella összevont adatai)

Régi P-szintek	Új P-szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970 (Bezostaja 1)						
P0	32,8	33,9	34,3	36,2	34,3	100
P1	36,3	36,6	37,0	38,7	37,3	109
P2	37,1	38,2	37,3	39,0	37,9	110
1971 (Bezostaja 1)						
P0	29,8	34,2	38,4	36,9	34,8	100
P1	32,7	36,5	38,1	38,2	36,4	104
P2	35,2	39,6	38,9	39,7	38,4	110
1970-71 átlagai						
P0	31,3	34,0	36,4	36,6	34,6	100
P1	34,5	36,6	37,6	38,4	36,8	106
P2	36,2	38,9	38,1	39,4	38,2	110
Átlag	34,0	36,5	37,4	38,1	36,5	
%	100	107	110	112		
1972 (Jubilejnaja)						
P0	22,3	25,8	26,3	28,4	25,6	100
P1	24,4	27,6	29,6	30,0	27,8	108
P2	28,2	30,3	28,7	28,1	28,8	112
Átlag	25,0	27,9	28,2	28,8	27,4	
%	100	112	113	115		

61. táblázat A P trágyázás hatása az egy kalászban levő szemek súlyára* (80-80 mintakéve összevont adatai, g)

Régi P szintek	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)						
P0	0,53	0,74	0,67	0,79	0,69	100
P1	0,86	0,77	0,76	0,95	0,83	120
P2	0,93	0,86	0,85	0,79	0,85	123
1971. (Bezostaja 1)						
P0	0,38	0,62	0,73	0,75	0,62	100
P1	0,61	0,76	0,78	0,79	0,74	119
P2	0,79	0,81	0,80	0,83	0,81	131
1970-71. átlagai (Bezostaja 1)						
P0	0,46	0,68	0,70	0,77	0,65	100
P1	0,74	0,76	0,77	0,87	0,78	120
P2	0,86	0,84	0,82	0,81	0,83	128
Átlag	0,69	0,76	0,76	0,82	0,75	115
%	100	110	110	119	109	
1972. (Jubilejnaja)						
P0	0,37	0,69	0,73	0,83	0,65	100
P1	0,68	0,79	0,86	0,84	0,79	122
P2	0,73	0,81	0,86	0,92	0,83	128
Átlag	0,59	0,76	0,81	0,86	0,75	115
%	100	129	137	146	127	

* Szemek száma 1 kalászban, db x 1000 szem tömeg, g / 1000 db

A 62. táblázatban a P trágyázás hatását mutatjuk be a mintakévek szemsúlyára az 1970-71. évek példáján. Ha a g/m^2 -ben kifejezett szemsúlyokat 100-zal osztjuk, $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ szemterméshez jutunk. Amint a táblázat adataiból kiderül, a mintakévekből számított szemtermés és a kombájnoláskor kapott tényleges szemtermés jól egyezik mind a P hatások irányát és mértékét, mind az abszolút szemterméseket tekintve.

A két év átlagadataiban a mintakévekből számított és a tényleges szemtermésben az eltérések a következők:

egyes kezeléseket figyelembe véve	$\pm 0,2-0,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$,
kezelésátlagokat figyelembe véve	$\pm 0,06 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$,
kísérleti főátlagot figyelembe véve	$\pm 0,01 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$.

62. táblázat. A P trágyázás hatása a mintakévek szemsúlyára, illetve az abból számított szemtermésre, az 1970-71. években (80-80 parcella összevont adatai, g/m^2 , illetve $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$)

Régi P szintek	Új P szintek, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$, 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. (Bezostaja 1)*						
P0	150	219	228	261	215	100
P1	512	278	284	292	277	129
P2	222	256	312	368	290	135
1971. (Bezostaja 1)*						
P0	200	292	410	392	324	100
P1	289	345	420	434	372	115
P2	312	430	430	444	404	125
Szem $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 1970-71. átlagai (Mintakévekből)						
P0	1,75	2,56	3,19	3,26	2,69	100
P1	2,70	3,12	3,52	3,63	3,24	120
P2	2,67	3,43	3,71	4,06	3,47	129
Átlag	3,04	3,47	3,65	3,13		116
%	100	128	146	154	132	
Szem $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$, 1970-71. átlagai (Tényleges termés)						
P0	1,57	2,47	3,05	3,35	2,61	100
P1	2,62	3,16	3,58	3,81	3,30	126
P2	3,02	3,46	3,63	3,69	3,45	132
Átlag	2,41	3,03	3,42	3,62	3,12	120
%	100	142	150	128		

* Mintakévek szemsúlya g/m^2

Mintavételi-módszertani szempontból megnyugtatónak tűnik ez az egyezés. A 4 fm parcellánkénti mintaterület megfelelő számú ismétlés mellett alkalmas arra, hogy a parcellák növényállományát reprezentálja. Kísérletünkben az ismétlések száma 4 (P2 szint), illetve 8 (P0, P1 szintek) volt. Ez azt jelenti, hogy 16-32 fm reprezentált egy kísérleti kezelést minden évben. A két év átlagai tehát 32 illetve 64 fm, azaz 4 illetve 8 m^2

mintaterületet jelentettek. A megkívánt mintavételi pontosság, az adott mintavétel módszere mellett, ismétlésigénye könnyen megbecsülhető. Esetünkben a minimálisan 4-szeres ismétléssel megközelítően elért pontosság 20% körüli, 8-szoros ismétléssel 10 % körüli, míg a 40-szeres ismétlésnél 2 % körüli volt.

A műtrágyahatások figyelemmel kísérésére, illetve a termésbecslésre megkíséreltük felhasználni a tenyésztési folyamán végzett vizuális fenológiai megfigyeléseket is, melyek eredményeit a 63-65. táblázatokban foglaltuk össze. Az egyes években a kísérleten belül legjobb növényállományú parcellákat jelöltük 5-tel, a leggyengébb állományúakat pedig

63. táblázat. A P trágyázás hatásának fenológiai vizsgálata a bokrosodáskori növényállomány bonitálásával (80-80 parcella összevont adatai 1-5 skálán)

Régi P szintek	Új P szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. IV. 24. (Bezostaja)						
P0	1,5	3,1	3,8	4,4	3,2	100
P1	3,0	3,9	4,5	4,5	4,0	125
P2	4,0	4,7	4,8	4,8	4,6	144
1971. II. 18. (Bezostaja)						
P0	2,3	3,6	3,8	3,8	3,4	100
P1	2,5	2,8	3,8	4,0	3,3	97
P2	3,2	4,5	4,8	4,2	4,2	124
1972. IV. 19. (Jubilejnaja)						
P0	1,2	2,0	2,0	2,9	2,0	100
P1	1,9	2,8	2,8	3,2	2,7	135
P2	2,0	3,5	3,5	4,0	3,2	160
1973. IV. 6. (Kiszombori)						
P0	2,0	2,2	3,2	4,0	2,8	100
P1	1,8	3,7	4,2	5,0	3,7	132
P2	2,8	4,0	4,2	4,8	4,0	143
1970-71. átlaga						
P0	1,9	3,4	3,8	4,1	3,3	100
P1	2,8	3,4	4,2	4,2	3,6	109
P2	3,6	4,6	4,8	4,5	4,4	133
Átlag	2,8	3,8	4,3	4,3	3,8	115
%	100	136	154	154	136	
1972-73. átlaga						
P0	1,6	2,1	2,6	3,4	2,4	100
P1	1,8	3,2	3,5	4,1	3,2	133
P2	2,4	3,8	3,8	4,4	3,6	150
Átlag	1,9	3,0	3,3	4,0	3,1	129
%	100	158	174	211	163	

1= gyengén fejlett, 5= igen jól fejlett állomány

1-gyel. Ezeket a megfigyeléseket háromszor végeztük el a tenyészidő folyamán, úgymint bokrosodáskor, kalászoláskor és aratás előtt. Bármennyire is szubjektívnek és viszonylagosnak tűnik ez a módszer, amint a táblázatok adatai mutatják, jól felhasználható a műtrágyahatások előrejelzésére és termésbecslésre. Előnye még, hogy gyors, egyszerű, nem igényel semmiféle költséges kísérleti eszközt. Az adatok statisztikai feldolgozását ugyan nem végeztük el, de a rendelkezésre álló, bemutatott nagyszámú eredmény szórása, hibája szemmel láthatólag lényegesen nem tér el egyéb talaj- és növényvizsgálati jellemzőktől. A P hatásokról, a várható termések alakulásáról minden évben jó előrejelzést kaphattunk a bonitálás adataiból.

64. táblázat. A P trágyázás hatásának fenológiai vizsgálata a szárbaindulás-, illetve kalászoláskori növényállomány bonitálásával (80-80 parcella összevont adatai 1-5 skálán)

Régi P szintek	Új P szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. VI. 16. (Bezostaja 1)						
P0	1,3	2,9	2,6	3,5	2,6	100
P1	3,2	3,6	3,8	4,2	3,7	142
P2	4,0	4,0	3,5	4,5	4,0	154
1971. V. 25. (Bezostaja 1)						
P0	1,9	3,1	4,0	4,1	3,3	100
P1	3,0	4,2	4,4	4,5	4,0	121
P2	4,5	3,8	4,5	4,2	4,2	127
1972. V. 24. (Jubilejnaja)						
P0	1,2	2,6	2,9	3,6	2,6	100
P1	2,2	3,2	3,9	4,1	3,4	131
P2	3,2	3,7	4,0	4,2	3,8	146
1973. V. 27. (Kiszombori)						
P0	1,7	3,0	3,5	4,5	3,2	100
P1	2,5	4,0	4,5	4,2	3,8	119
P2	2,7	3,8	4,2	4,0	3,7	116
1970-71. átlagai						
P0	1,6	3,0	3,3	3,8	3,0	100
P1	3,1	3,9	4,1	4,4	3,8	127
P2	4,2	3,9	4,0	4,4	4,1	137
Átlag	3,0	3,6	3,8	4,2	3,6	120
%	100	120	127	140	120	
1972-73. átlagai						
P0	1,4	2,8	3,2	4,0	2,9	100
P1	2,4	3,6	4,2	4,2	3,6	124
P2	3,0	3,8	4,1	4,1	3,8	131
Átlag	2,3	3,4	3,8	4,1	3,4	117
%	100	148	165	178	148	

65. táblázat A P trágyázás hatásának fenológiai vizsgálata az aratáskori növényállomány bonitálásával (80-80 parcella összevont adatai 1-5 skálán)

Régi P szintek	Új P szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-73. között					
	0	40	80	120	Átlag	%
1970. VII. 13. (Bezostaja 1)						
P0	1,5	3,0	3,1	3,8	2,8	100
P1	3,2	4,0	3,9	4,4	3,9	139
P2	3,8	4,2	4,2	4,5	4,2	150
1971. VII. 12. (Bezostaja 1)						
P0	1,2	2,6	4,2	4,8	3,2	100
P1	3,1	4,1	4,2	4,9	4,1	128
P2	4,2	5,0	4,2	4,8	4,6	144
1972. VII. 18. (Jubilejnaja)						
P0	1,5	2,6	3,1	4,1	2,8	100
P1	2,6	3,6	4,1	4,8	3,8	136
P2	4,2	4,8	4,5	4,8	4,6	164
1973. VII. 5. (Kiszombori)						
P0	1,8	2,8	3,5	4,0	3,0	100
P1	4,0	4,0	3,8	3,8	3,9	130
P2	4,0	3,8	3,5	3,5	3,7	123
1970-71. év átlagai						
P0	1,4	2,8	3,6	4,3	3,0	100
P1	3,2	4,0	4,0	4,6	4,0	133
P2	4,0	4,6	4,2	4,6	4,4	147
Átlag	2,9	3,8	3,9	4,5	3,8	127
%	100	131	134	155		
1972-73. év átlagai						
P0	1,6	2,7	3,3	4,0	2,9	100
P1	3,3	3,8	4,0	4,3	3,8	131
P2	4,1	4,3	4,0	4,2	4,2	145
Átlag	3,0	3,6	3,8	4,2	3,6	124
%	100	120	127	140	120	

2.3. A talajba vitt P-műtrágya értéksökkenése tartamkísérletben

Az előzőekben bemutatott 1.2 jelű szabadföldi kísérletünk adatai arról tanúskodtak, hogy a tartós P műtrágyázással a talaj könnyen oldható P tartalma jelentősen növelhető, termékenysége javítható. Az eredetileg P-ban szegény talaj fokozatosan "jó" ellátottá vált a P trágyázás hatására, feltöltődött az egyre pozitívabb P mérleggel rendelkező parcellákon és lehetővé tette a kísérleti körülmények között maximális termések elérését. Az 1.2 jelű kísérlet 9 x 7 = 63 m² alapterületű parcelláit a kísérlet 10. évében, 1971 őszén megfektük és az így kapott új, 1.20 jelű kísérlet 3,5 m

széles téglalap alakú ($3,5 \times 9 = 31,5 \text{ m}^2$) parcelláin feltöltő-melioratív P műtrágyázást végeztünk 0, 240, 480, 960 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ adagokkal.

Célunk az volt, hogy a különböző P-ellátottságú parcellákon - amelyeket a megelőző 10 év trágyázási gyakorlata alakított ki - megvizsgáljuk a feltöltő P trágyázás hatékonyságát és megkíséréljük egyszeri bevitellel egy év leforgása alatt "jó" ellátottá tenni korábban nem trágyázott és ezért gyenge termékenyséű talajokat. A kísérletben évenként felhasznált P műtrágya mennyiségéről a 66., az egyes kezelésekben összesen felhasznált P mennyiségéről, valamint a kezelések P mérlegeiről a 67. táblázat tájékoztat. Az új, 20 kezeléses, 80 parcellás kísérlet egységesen 4 ismétléses. A feltöltő trágya adagjait a régi P-szintekre építettük. A melioratív P trágyázás hatását részben az utóhatás parcelláihoz ($0 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ feltöltő trágyázás), részben pedig az 1.2 kísérlet "normál" adagokkal évente trágyázott kezeléseikhez viszonyítottuk.

66. táblázat A kísérletben évenként felhasznált műtrágya-P mennyisége ($\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$)

Régi P 1962-69	Új P szintek 1970-71. között				Feltöltő trágyázás	
	0	40	80	120	1972	1973
-	-	40	80	120	-	-*
-	-	40	80	120	960	-
30	-	40	80	120	240	-
30	-	40	80	120	480	-
60	-	40	80	120	960	-

* A parcellák egy részén talajkémiai vizsgálatok céljából $1920 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$

67. táblázat. Az egyes kísérleti kezelésekből felhasznált összes P mennyisége, valamint a kezelések P mérlegeinek egyenlegei, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (1972 őszén a feltöltő trágyázás után)

Régi P szintek	Új P szintek, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$, 1970-71. között				
	0	40	80	120	Átlag
	Adott $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ összesen				
P0	-	80	160	240	120
P0	960	1040	1120	1200	1080
P1	480	560	640	720	600
P1	720	800	880	960	840
P2	1440	1520	1600	1680	1560
	P-mérleg, $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$				
P0	-170	-104	-35	34	-68
P0	766	835	919	990	878
P1	234	302	376	447	340
P1	448	514	590	661	553
P2	1132	1197	1280	1359	1242

A feltöltő P műtrágyázás szemtermésre gyakorolt hatását a 68. és 69. táblázatok mutatják be. Amint a táblázatokból kitűnik, maximális terméseket a legnagyobb adagú feltöltő trágyázás eredményezett. A 10-12 éven át P-ral nem trágyázott kontroll parcella termése 2-3-szorosára emelkedett a 960 kg P₂O₅ ha⁻¹ hatására és szintén elérte a kísérletben mért legmagasabb termésszintet. A kétéves átlagok a különböző adagú feltöltő trágyázás előnyéről tanúskodnak a "normál" adagú trágyázáshoz viszonyítva is. A feltöltő trágyázás különösen jól érvényesült az 1972-es szárazabb évben, míg a nedvesebb 1973-as évben - amikor az őszi búza állománya erősen fertőzött volt és elgyomosodott - a trágyahatások kisebbek.

68. táblázat A feltöltő P műtrágyázás hatása az őszi búza termésére (Szemtermés t·ha⁻¹, 86 % szárazanyagra számítva)

Régi P szintek	Feltöltő P 1972-ben	Új P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-71 között					
		0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
1972. (Jubilejnaja)							
P0	-	1,52	2,23	2,45	3,20		2,35
P0	960	4,86	4,60	4,38	4,78		4,66
P1	240	2,82	3,50	3,81	4,07	0,68	3,55
P1	480	3,77	4,22	4,43	4,63		4,26
P2	960	4,47	4,65	4,72	4,76		4,65
SzD _{5%}		0,69					
1973. (Kiszombori)							
P0	-	2,03	2,41	3,10	3,84		2,84
P0	960	3,86	4,02	4,02	4,02		3,98
P1	240	4,17	4,08	4,24	4,12	0,41	4,15
P1	480	3,82	4,12	3,80	3,80		3,88
P2	960	3,96	3,72	3,84	3,83		3,84
SzD _{5%}		0,41					
1972-73. évek átlaga							
P0	-	1,78	2,32	2,78	3,52		2,60
P0	960	4,36	4,31	4,20	4,40		4,32
P1	240	3,50	3,79	4,02	4,10	0,40	3,85
P1	480	3,80	4,17	4,12	4,22		4,07
P2	960	4,22	4,18	4,28	4,30		4,24
SzD _{5%}		0,41					

A nagyobb, 240-960 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagokkal végzett feltöltő P trágyázás hatására kapott terméstöbbleteket vizsgálva megfigyelhető, hogy a terméstöbbség nagysága a feltöltő adag, valamint a talaj korábban kialakított P-ellátottságának függvénye. Így pl. a 12 éven át P-ral nem trágyázott parcellákon két év alatt kerekén 5,2 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet kaptunk a 960 kg P₂O₅/ha felhasználásával, míg ugyanezen adag a régi P2 szintjén a 8-12 éven át folytatott rendszeres P trágyázás után csak 0,5-2,0 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet eredményezett. Figyelembe véve, hogy mintegy 3 kg szemterméstöbblettel már megtérülhet 1 kg műtrágya P₂O₅ felhasználása, így a közel

1000 kg hatóanyaggal végzett feltöltő P műtrágyázás a kísérlet két éve alatt a kontroll parcellákon már kifizetődött. Emellett még igen jelentős és hosszan tartó utóhatással is számolhatunk, amint arra az előzőekben utaltunk, 50-70 %-os friss műtrágya egyenértékkel e talajon.

69. táblázat. A feltöltő P műtrágyázás hatékonysága a talaj eltérő P-ellátottsága függvényében (Szemtermés t·ha⁻¹, 1972-73. évek átlagában)

Régi P szintek	Feltöltő P 1972-ben	Új P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-71 között					
		0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
P0	-	1,78	2,32	2,78	3,52		2,60
P0	960	4,36	4,31	4,20	4,40		4,32
P1	(0-120)*	2,44	3,42	3,90	3,86	0,40	3,40
P1	240	3,50	3,79	4,02	4,10		3,85
P1	480	3,80	4,17	4,12	4,22		4,08
P2	(0-120)*	3,18	3,92	3,80	3,89		3,70
P2	960	4,22	4,18	4,28	4,30		4,24
SzD _{5%}						0,41	
Terméstöbblet t·ha ⁻¹							
P0	960-0	2,58	1,99	1,42	0,88		1,72
P1	480-240	0,30	0,38	0,10	0,12	0,40	0,23
P1	240-(0-120)	1,06	0,37	0,12	0,24		0,45
P1	480-(0-120)	1,36	0,75	0,22	0,36		0,68
P2	960-(0-120)	1,04	0,26	0,48	0,41		0,54
SzD _{5%}						0,41	

* (0-120) az 1.2 számú kísérlet megfelelő kezeléseit jelöli

Ahhoz tehát, hogy a talaj termékeny legyen, egy bizonyos P szintre van szükség, feltöltöttségre. Ez a feltöltöttség, illetve ellátottsági határérték létrehozható fokozatosan is, sok éven át folytatott talajgazdagító (pozitív P mérlegű, a növény által kivont P mennyiségét meghaladó) trágyázással, vagy egyszeri feltöltéssel is. A módszer megválasztása üzemgazdasági döntést igényel. Olyan esetekben, mint pl. iparszerű termelési rendszerekben, ahol minden termésbefolyásoló tényező optimalizálására törekszik és a magas termés kialakulását csak egy tényező - mint pl. a talaj alacsony P-szintje - limitálja, javasolható a feltöltő trágyázás, optimális tápanyagösszetételű talaj létrehozása egyszeri művelettel.

A talaj könnyen oldható P tartalma a feltöltő trágyázás hatására igen erősen és szignifikánsan változott. Így pl. a kontroll parcellák 5-6 mg/körűli AL-P₂O₅ tartalma 15 mg % értékre nőtt és ezzel a "jó" ellátottsági tartományba került. Hasonló jelenség figyelhető meg az Olsen-módszerrel meghatározott tápanyag-tartalmakat illetően, sőt itt a %-os növekedés sokkal kifejezettebb (70. táblázat). A feltöltő adagok hatása tükröződött a szemtermés P % tartalmán is, maximális adagok a legmagasabb P % tartalmú szemtermést eredményezték. A szemterméssel kivont P mennyiségeit tekintve a feltöltő trágyázás ilyen irányú hatása még kifejezettebb (71. táblázat).

70. táblázat A feltöltő P műtrágyázás hatása a talaj könnyen oldható P tartalmára (AL- és Olsen módszer összehasonlítása 1972. őszén)

Régi P szintek	Feltöltő P 1972-ben	Új P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ /év, 1970-71 között					
		0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹							
P0	-	55	60	68	90		68
P0	960	147	140	159	154		150
P1	240	81	83	103	102	36	92
P1	480	95	117	108	122		110
P2	960	152	214	157	185		176
Olsen-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹							
P0	-	11	12	20	20		15
P0	960	72	58	90	78		74
P1	240	21	24	38	37	24	30
P1	480	35	41	41	47		40
P2	960	65	99	72	80		78

71. táblázat A feltöltő P műtrágyázás hatása a szem P %-ára, valamint a szemterméssel felvett P mennyiségére (1971-73. évek átlagában)

Régi P szintek	Feltöltő P 1972-ben	Új P-szintek, P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹ , 1970-71 között					
		0	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
P ₂ O ₅ % a szemtermésben							
P0	-	0,63	0,64	0,70	0,74		0,68
P0	960	0,74	0,75	0,74	0,76		0,75
P1	240	0,73	0,73	0,74	0,76	0,05	0,74
P1	480	0,72	0,72	0,75	0,75		0,74
P2	960	0,78	0,78	0,78	0,78		0,78
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ a szemtermésben							
P0	-	11	15	20	26		18
P0	960	32	31	30	32		31
P1	240	26	28	30	31	6,5	29
P1	480	27	30	31	31		30
P2	960	32	32	32	33		32

Vizsgáljuk meg az egyszeri feltöltés hatását a talaj szerves-P frakcióira. A 72. táblázat eredményeiből a feltöltődés hatásmechanizmusa jól nyomon követhető. A táblázat adatai arra hívják fel a figyelmet, hogy a nagyobb adagú trágyázás hatása elsősorban az I. és II. frakcióban jelentkezik, vagyis a P-adagok növekedésével előtérbe kerül a könnyebben oldható P-forma aránya és mennyisége. A nehezen oldódó kalciumfoszfátokban bekövetkezett növekedés az adagok növekedésével csökkenő tendenciát mutat. Így pl. az I. frakció, az 1973-ban kimondottan talajkémiai vizsgálatok céljából adott 1920 kg P₂O₅ ha⁻¹ hatására mintegy 90-szeresére, a II. frakció 8-szorosára, míg a III. frakció alig 3-szorosára, illetve a IV. frakció csak 1/4-

ével növekedett a trágyázatlan kontrollhoz képest. A harmadik frakció változása azonban abszolút értékben jelentéktelen és nem is szignifikáns, tehát valójában növekedésről sem beszélhetünk egyértelműen.

72. táblázat A feltöltő P trágyázás hatása a talaj szerves-P frakcióira (FÜLEKY és KÁDÁR 1975)

Régi P szintek	Feltöltő P		Chang-Jackson frakciók az új P átlagaiban				
	1972	1973	I.	II.	III.	IV.	Összeg
P mg·kg ⁻¹							
P0	-	-	1,9	22,0	7,8	430,0	461,7
P0	960	-	17,0	55,0	10,0	460,0	542,0
P0	-	1920	172,0	174,0	22,5	534,0	902,5
Többlet a kontroll %-ában							
P0	-	-	100	100	100	100	100
P0	960	-	895	250	128	107	117
P0	-	1920	9053	791	288	124	195
Az egyes frakciók %-os megoszlása							
P0	-	-	0,4	4,8	1,7	93,1	100,0
P0	960	-	3,1	10,2	1,8	84,9	100,0
P0	-	1920	19,1	19,3	2,5	59,1	100,0
Az egyes frakciókba beépült műtrágya-P %-os megoszlása							
P0	-	-	-	-	-	-	-
P0	960	-	18,8	41,1	2,7	37,4	100,0
P0	-	1920	38,6	34,5	3,3	23,6	100,0

Az egyes frakciók %-os megoszlását tekintve szembevetendő különösen az I., de a II. frakció növekedése is a IV. frakció részarányának egyidejű csökkenése mellett. A III. frakció aránya viszonylag állandó. Az 1973-ban adott legnagyobb adagú feltöltő trágyával a talaj összes ásványi P tartalma megkétszereződött. A beépült műtrágya-P 2/3-a az I. + II. frakcióban, 1/3-a a IV. frakcióban mutatható ki, míg a III. frakcióba beépült mennyiség 3 % körüli, elhanyagolható. Az így kialakult állapot idővel valószínűleg megváltozik majd az elsődlegesen létrejött P formák átalakulása következtében.

Összefoglalva a kísérlet eredményeit a következő főbb megállapításokat tehetjük (KÁDÁR 1974, 1975, FÜLEKY és KÁDÁR 1975):

- A felhasznált P műtrágya mennyisége, szemtermése, a talaj könnyen oldható P tartalma és a Chang-Jackson féle I.+ II. frakciók mennyisége között a táblázatok alapján szoros pozitív összefüggést figyelhetünk meg.
- A talaj P ellátottságának becslésére a kísérletben kapott nem túl magas termésszintek mellett a következő határértékek javasolhatók e talajtípusra:

P-ellátottság	Gyenge	Közepes	Jó
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	70 alatt	70-150	150 felett
Olsen-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	15 alatt	15-40	40 felett
Szemtermés t·ha ⁻¹	2,5 alatt	2,5-4,0	4,0 felett

- Kísérleti körülményeink között több év átlagában 100 kg körüli P_2O_5 szuperfoszfát műtrágya-hatóanyag $10 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ AL-, illetve $5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Olsen P_2O_5 növekedést eredményezett a talaj 0-20 cm mintavételi mélységében. A talajvizsgálatok alapján kiszámítható a "jó" P-ellátottsági szint eléréséhez (feltöltéshez) szükséges műtrágya mennyisége.
- A "jó" P-ellátottság kialakítása történhet egyszeri bevitellel is feltöltő trágyázással, vagy olyan P adagokkal, ahol az évek során a terméssel kivont P-nál többet juttatunk a talajba - tehát lassú feltöltéssel állandó pozitív mérleggel. A módszer megválasztása üzemgazdasági probléma.
- A melioratív P műtrágyázás gazdaságosságának, alkalmazási lehetőségének agrokémiai alapja a talaj P ellátottságának foka. Még a közel $1000 \text{ kg } P_2O_5 \text{ ha}^{-1}$ adagú műtrágyázás is kifizető lehet egy igen rosszul ellátott talajon - mint a terméstebbletek mutatták - és hatékonysága fokozatosan csökken a talaj P ellátottságának javulásával. A korábban is rendszeresen trágyázott és jól ellátott talajokon fenntartó trágyázás javasolható a tápanyag-mérleg elve alapján.
- A talaj ásványi P frakcióinak vizsgálata arra enged következtetni, hogy a feltöltő trágyázással, az adagok növelésével egyre inkább előtérbe kerül az I. és II. frakciók, vagyis a legkönnyebben oldható P-formák aránya és mennyisége.

2.4. A P-előregedés vizsgálata új modellkísérletben

A foszforműtrágya talajtermékenységére gyakorolt sokoldalú és igen összetett hatásának tanulmányozásában a bemutatott 1.2, valamint 1.20 jelű kísérletek eredményei számos tanulsággal szolgáltak. Beigazolódott, hogy elméleti és gyakorlati szempontból egyaránt fontos tápanyagmegkötődési és tápanyagátalakulási folyamatok szabatos vizsgálatára hasonló jellegű kísérleti modellek jól felhasználhatók és az őszi búza monokultúra kielégítheti a P tesztnövényvel szemben támasztott követelményeket. Célszerűnek látszik továbbra is tartamkísérleteink egy részét átépíteni, mert így lehetőségünk nyílik a tartós műtrágyázás hatásmechanizmusát jobban megvilágítani. Az említett kísérletek metodikai tapasztalatait felhasználták a *MÉM Egységes Országos Kísérletek* egy részének átalakításánál is.

Ezek a kutatások ugyanakkor egy sor újabb problémát vetettek fel, amelyek megválaszolása továbblépést követelt. Mindenekelőtt felhívták a figyelmet arra, hogy hosszú távú kísérleti terveket kell készíteni és a különböző vizsgálatokat szisztematikusan végezve rendszerbe kell foglalni. A talajba került műtrágyák tápanyagainak transzformációjában az időtényező szerepét kiemelten kell kezelniük, ezek az átalakulási folyamatok ugyanis csak az idő függvényében értelmezhetők. Szükségessé tette egy új kísérlet beállítását az a körülmény is, hogy a megfelelő parcellákon végzett feltöltő trágyázással megnőtt az áthordás veszélye és a kísérlet hibája, a parcellák talajának heterogenitása, amelyre a talajvizsgálati adatok növekvő $SzD_{5\%}$ értékei is utaltak. Ezért az 1.2, 1.20 jelű kísérleteket 1973-ban megszüntettük.

Az 1.21 jelű 108 parcellás kísérletünket 1972 őszi állítottuk be 9 P-kezeléssel, 12 ismétlésben. A parcellák mérete $11 \times 3,5 = 38,5 \text{ m}^2$. Műtrágyaként 25 %-os pétisót, 40 %-os kálisót és 18 %-os szuperfoszfátot alkalmaztunk. A PK műtrágyát, valamint a N felét ősszel szántás előtt, a N másik felét pedig tavasszal fejtrágyaként juttattuk a talajba. Az alaptrágyázás szintje $N200 \text{ K}100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ hatóanyag évente. A természetett őszi búza

fajtája 1973-ban Kiszombori, 1974-76. években pedig Kavkáz volt. Előveteményül ötéves lucerna szolgált. Ezúton a kísérlet első négy évének eredményeiről számolunk be.

A kísérleti trágyázás tervét a 73. táblázat szemlélteti. A 9 P kezelés tulajdonképpen egy 0, 40, 80, 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagú 4 lépcsős "kis" P-hatásgörbét, valamint egy 0, 120, 240, 360, 480, 600, 720 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagú "nagy" P-hatásgörbét foglal magában. Az 1972 őszen így kialakított P szintek képezik az utóhatás kísérletet. Ahhoz, hogy a műtrágya-P értéksökkenését szabatosan felmérhessük az idő függvényében, tehát pl. a 2, 4, 6, 8 stb. éves talajban maradt P "friss műtrágya egyenértékét" megállapíthassuk - kétévenként új P kísérletet indítunk kis P hatásgörbével. Ehhez az utóhatás kísérlet ismétléseit használjuk fel. A P kezelések száma 1990-re így 36-ra nő majd, míg az ismétlések száma minden kezelésben fokozatosan 3-ra csökken az új P szintek beállításával.

73. táblázat. A kísérlet trágyázási terve, P₂O₅ kg·ha⁻¹·év⁻¹

Feltöltő P ₂ O ₅ 1972 őszen	Új P szintek P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹				Bevitel éve
	0	40	80	120	
-	-	40	80	120	1974 őszen
40	-	40	80	120	1976 őszen
80	-	40	80	120	1978 őszen
120	-	40	80	120	1980 őszen
240	-	40	80	120	1982 őszen
360	-	40	80	120	1984 őszen
480	-	40	80	120	1986 őszen
600	-	40	80	120	1988 őszen
720	-	40	80	120	1990 őszen

A korábban taglalt 1.2 jelű kísérletben a talajban maradó műtrágya P értéksökkenését - az utóhatások mérésével és a hatásokra való tesztelésével - csak viszonylagos értelemben tudtuk megítélni. Mind a régi, mind az új P adagolása ugyanis évente történt, így a kumulatív hatás miatt pl. más volt a régi P újhoz viszonyított értéksökkenése a kísérlet 3 éve alatt, mint a 4 éve alatt. Új kísérletünk lehetővé teszi a műtrágya-P elöregedésének vizsgálatát a zavaró kumulatív hatások, valamint hosszabb idő eltelte után az időjárás esetleges módosító hatásainak kiszűrésével.

A P műtrágyázás hatását és utóhatását vizsgálva az őszi búza termésére megállapítható, hogy a kísérlet indulási évében már a 40-80 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagnál a termés tetőzött és az ennél nagyobb P-adagok termésesökkenést okoztak. A Kiszombori fajta ugyanis megdőlt, a nagyobb P adaggal trágyázott parcellákon a képződött nagyobb és súlyosabb kalászatok e gyenge szárszilárdságú fajta a párásabb és gombabetegségekkel fertőzött 1973-as évben nem volt képes kihordani. A következő 1974-es évben már érvényesült a 120, 1975-ben a 240, míg 1976-ban a 480 kg P₂O₅ ha⁻¹ legnagyobb adagú kezelések kedvező utóhatása is, a termésgörbe egyre magasabb szinteken laposodott el. A Kavkáz fajtánál a termés szint különösen a P kontroll parcellákon igen erősen csökkent annak ellenére, hogy a monokultúra sikeres fenntartása céljából itt is évente szalma- illetve tarlóégetést végzünk. Az utóbbi 2 év -

1975 és 1976. évek - átlagterméseiből arra következtethetünk, hogy az 1972-ben adott régi kis P és az 1974-ben adott új kis P hatásgörbéi nem térnek el lényegesen egymástól, az értékcsökkenés még nem jelentkezik a régi P utóhatásában (74. táblázat).

74. táblázat. A P trágyázás hatása és utóhatása az őszi búza termésére

P ₂ O ₅ /kg·ha ⁻¹ 1972 őszen	Szemtermés t·ha ⁻¹ , 86 % sz.a-ra számítva					
	1973	1974	Átlag	1975	1976	Átlag
-	3,82	5,70	4,76	1,37	2,07	1,72
40	4,34	6,08	5,21	2,92	2,55	2,73
80	4,33	6,19	5,26	3,32	2,85	3,08
120	4,09	6,53	5,31	3,74	3,11	3,42
240	3,78	6,56	5,17	4,31	3,82	4,06
360	3,64	6,58	5,11	4,46	4,36	4,41
480	3,58	6,64	5,11	4,51	4,65	4,58
600	3,66	6,54	5,10	4,34	4,56	4,45
720	3,50	6,23	4,86	4,64	4,87	4,75
Átlag	3,86	6,34	5,10	3,73	3,64	3,68
	1974-ben adott P ₂ O ₅ /kg·ha ⁻¹ hatása					
Év	-	40	80	120	SzD _{5%}	Átlag
1975	1,37	2,70	2,62	2,95		2,41
1976	2,07	2,49	2,84	3,80		2,80
Átlag	1,72	2,59	2,73	3,37		2,60

Az AL-oldható P tartalom változása a talajban arra utal, hogy a trágyázás utáni első évben 100 kg műtrágya-P mintegy 3 mg%-kal növelte a talaj AL-P tartalmát, tehát a teljes bevitt műtrágya-P még kimutatható AL-oldható formában. A későbbi években már csak fele-harmada mutatható ki a műtrágya-P mennyiségének AL-módszerrel, míg nagyobb része ezen oldószerben ki nem oldható formákká alakult a talajban. Amikor tehát a talaj P-szolgáltatását a talaj AL-P tartalma alapján kívánjuk megítélni, a talaj-P korát, a táblatorzskönyvki adatokat is ismernünk kell (75. táblázat).

A P műtrágyázás jelentősen növelte az őszi búza P tartalmát. Ez a növekedés egyaránt tükröződik mind a főtermék, mind a melléktermékek beltartalmában és közel azonos mértékű a monokultúra első kettő, valamint az utóbbi két évében (76. táblázat). Az AL-P tartalom és az évenkénti szemtermés, az AL-P tartalom és az évek, valamint az 1972 őszen felhasznált P mennyisége és a 4 kísérleti év kumulatív szemtermésének összefüggéseit a 4. ábrán is szemléltetjük.

Az eddig bemutatott három P kísérlet igen munkaigényesnek bizonyult, különösen ami a talaj- és növényvizsgálatokat illeti. Csak hozzávetőlegesen jegyezzük meg, hogy pl. az 1.2, illetve 1.20 jelű kísérletek összesen 6 kísérleti éve alatt 6x80=480 AL-P és 3x80=240 Olsen-P meghatározást, tehát 720 talajminta vizsgálatát jelentette. Ehhez járult még az 1.21 kísérletben végzett mintegy 480 AL-P meghatározása, így e három kísérletben 1200 talajvizsgálat vált szükségessé. A vizsgált növényminták száma - NPK tartalom megállapítása - szintén megközelítette az ezres nagyságrendet.

legrészletesebben taglalt 1.2 jelű kísérletben a vizsgálatba vont mintegy 40 tulajdonságot megközelítően 15 ezer alapadat felhasználásával jellemeztük.

75. táblázat A P trágyázás hatása a talaj AL-oldható P tartalmára

P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ 1972 őszen	AL- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹ g a szántott rétegben				
	1972	1973	1974	1975	1976
-	73	80	71	82*	79*
40	72	99	85	86*	78*
80	66	95	76	85	74
120	68	105	87	90	76
240	75	137	104	106	89
360	72	194	123	120	94
480	70	206	124	140	101
600	69	246	140	158	116
720	71	284	199	180	128
Átlag	70	160	112	117	93
1974-ben adott P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ hatására*					
Év	-	40	80	120	Átlag
1975	82	97	92	100	93
1976	79	72	75	87	78
Átlag	80	84	84	94	86

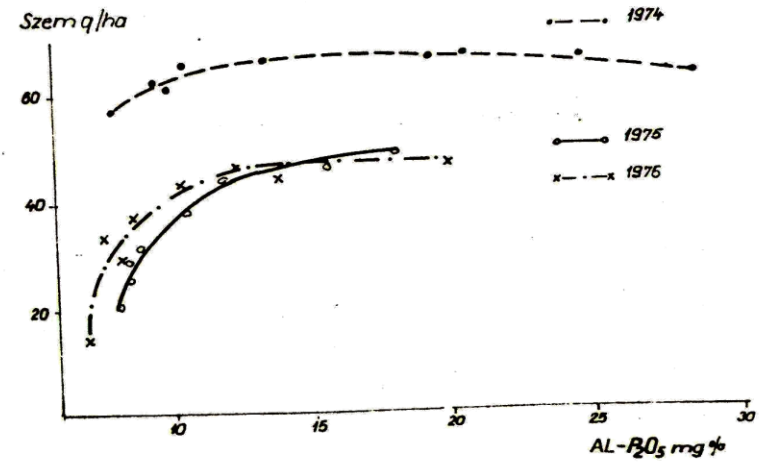
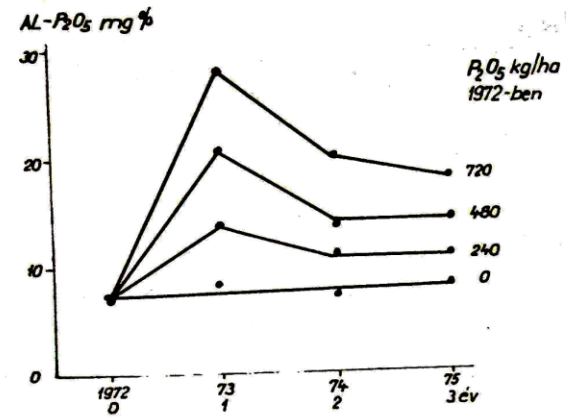
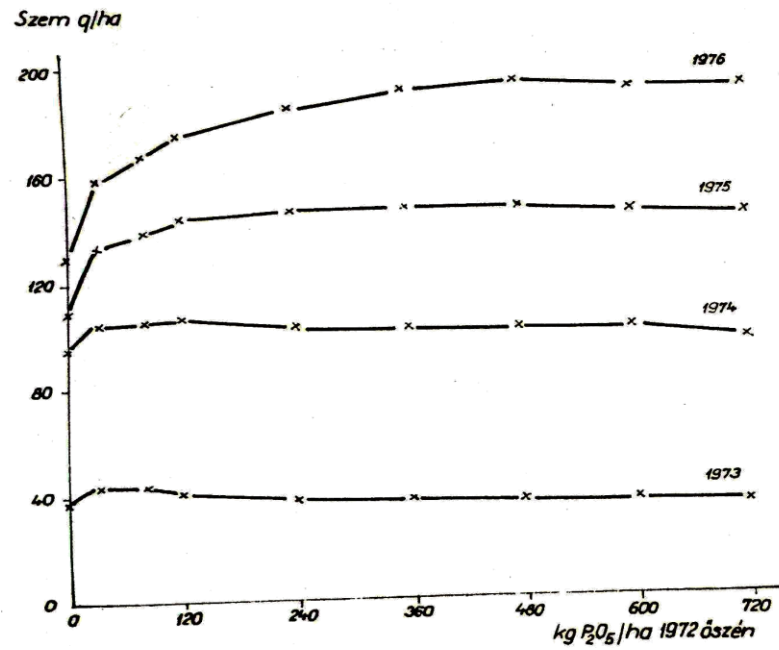
* 3 ismétlés átlagai

76. táblázat A műtrágyázás hatása az őszi búza P-tartalmára

P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ 1972. őszi	P ₂ O ₅ % a légszáraz anyagban, 2 éves átlagok					
	Szem		Szalma		Pelyva	
	1973-74	1975-76	1973-74	1975-76	1973-74	1975-76
-	0,60	0,66	0,10	0,14	0,16	0,16
40	0,61	0,66	0,12	0,15	0,16	0,15
80	0,62	0,68	0,11	0,15	0,16	0,14
120	0,68	0,70	0,14	0,18	0,18	0,15
240	0,70	0,76	0,14	0,17	0,20	0,16
360	0,70	0,78	0,17	0,20	0,21	0,20
480	0,74	0,84	0,14	0,22	0,24	0,17
600	0,72	0,82	0,16	0,23	0,22	0,18
720	0,72	0,82	0,16	0,22	0,22	0,18
SzD ₅ %	0,06	0,07	0,08	0,02	0,03	0,02
Átlag	0,67	0,74	0,14	0,18	0,19	0,17

Természetszerűleg felmerül a kérdés, arányban áll-e a kapott információk mennyisége és minősége a befektetett munkával, illetve milyen munkamódszert kövessünk a jövőben? Kívánatos-e kísérleteinket esetleg újabb paraméterek vizsgálatával kiegészíteni? A továbbiakban ezekre az általánosabb jellegű problémákra is választ kívánunk kapni.

4. ábra
Az 1.21 kísérlet eredményei
(Nagyhörcsök, 1972-76)



2.5. Az eltérő NPK ellátottsági szintek hatásvizsgálata

Mint ismeretes a múlt század második felétől már többé-kevésbé rendszeres műtrágyázásról beszélhetünk egyes nyugat-európai országokban. Hazánkban a műtrágyázás az 1980-as években kezdődik és a századfordulóra a fejlettebb nagybirtokok tápanyag-gazdálkodásának szerves részévé válik. A világ műtrágya termelése és fogyasztása fokozatosan emelkedik a II. világháborúig, élén a nyugat-európai országokkal. Új szakasz kezdődik a műtrágyázás terén a II. világháborút követően, amikor egyre több európai ország rátér az intenzív műtrágyázásra. A nagyobb mérvű műtrágyahasználat ugyanis a nyugat-európai államok mezőgazdaságában is csak az 1950-es évekkel veszi kezdetét. Magyarország a századfordulót követő gyakorlatilag félévszázados stagnálás után az 1950-es évek közepétől növeli dinamikusan műtrágya-felhasználását és az 1960-as évek végére, illetve az 1970-es évek elejére éri el az intenzív műtrágyázás szintjét.

Használatos ugyan lépten-nyomon a "nagyadagú" műtrágyázás fogalma, sőt a nemzetközi műtrágyázási statisztika is megkülönböztet esetenként "kisadagú-közepes adagú-nagyadagú" műtrágyázást folytató országokat, ennek ellenére a "nagyadag" fogalma nem elég szabatos. Az $1-2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ hatóanyag felhasználásához viszonyítva "nagy" adagnak tűnt a $10-20$, ez utóbbihoz viszonyítva pedig a $150-200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ műtrágya-hatóanyag. Mást értettünk a "nagyadag" alatt az 1950-es években mint ma, és mást fogunk a jövőben. Helyesebbnek látszik intenzív trágyázásról vagy műtrágyázásról beszélni, amely alatt a pozitív tápanyag-mérlegű tápanyag-gazdálkodást, talajgazdagító-feltöltő trágyázást, illetve a pozitív tápanyag-mérleget fenntartó trágyázást értem.

A termésszintek a talaj tápanyag-ellátottsági szintjének is függvényei, magasabb termések magasabb ellátottságot igényelnek a talajban. Ebből az a fontos és logikus következtetés adódik, hogy a növekvő termések elérése céljából nem elegendő a termések tápanyag-tartalmának egyszerű visszapótlására szorítkoznunk, hanem többletrágyázásra, talajgazdagító trágyázásra van szükség, a talajtermékenység bővített újratermelésére, amelyet általában a hosszabb időre vonatkozó pozitív tápanyag-mérleg jelöl.

Egy bizonyos termésszintet, a tartamkísérletek tanulságai szerint a talajtól és az agrotechnika adott színvonalától függően $1-2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ gabonatermést mindenféle trágyázás nélkül is elérhetünk. A $2-3 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ termések eléréséhez már jelentős trágyázásra van szükség, bár ekkor még a nem teljes visszapótlás is megengedhető. A $3-4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szemterméseredmények - az országos tápanyag-mérlegek adatai alapján - már az összes kivont NPK visszapótlását feltételezik, sőt a P esetén már jelentős túltrágyázást is. Ez az állapot az 50-es években alakult ki egyes nyugat-európai országokban, míg hazánkban a 60-as évek végére, 70-es évek elejére, tehát tulajdonképpen most jutottunk el ide.

Bár az országos átlag nagy eltéréseket takar, hisz az élenjáró gazdaságaink jelentős része már korábban áttért az intenzív műtrágyázásra, mégis ez utóbbi viszonylag újszerű tevékenység és külön tanulmányozást igényel. Talajaink tápanyagállapotában és termékenységében nagyobb változások történtek az elmúlt 20 év alatt, mint a megelőző évszázadok folyamán együttesen. Az egyes üzemek eltérő trágyázási gyakorlata tükröződik a talajok könnyen oldható PK tartalmának változásán is, így pl. egyaránt találunk $20-30$ és $300-400 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ AL-oldható PK tartalmú táblákat egyazon talajváltozatokon is. Igen kevésbé ismert azonban az intenzív N, P, K műtrágyázás

talajtermékenységre gyakorolt sokoldalú hatása. A trágyázási gyakorlat bizonyos mértékben, a kutatásokhoz képest, előreszaladt. Mindez egyfajta bizonytalanságot okoz, mintha vakon haladnánk előre, hisz az esetleges negatív hatások elhárítására nem vagyunk kellően felkészülve.

Az intenzív műtrágyázás talajra gyakorolt egyik hatásának következménye a talajok könnyen oldható tápanyag-tartalmának növekedése, a feltöltődés. Melyek e növekedés határai? Hogyan hatnak az egyes műtrágyák a talaj némely fizikiai, kémiai vagy biológiai tulajdonságára, az egyes növények mennyiségi és minőségi jellemzőire? Milyen körülmények között vezethet termésnövekedéshez a csak makroelemeket használó intenzív műtrágyázás? Ezekre a kérdésekre kerestünk választ újabb kísérletünk beállításával.

Az intenzív műtrágyázásnak a környezetre, talajra és a növényre gyakorolt sokoldalú hatásának vizsgálata nemcsak a mezőgazdaságot segíti értékes adatokkal, hanem nélkülözhetetlen a modern környezetvédelem szempontjából is. A jövőben fokozott gondot kell fordítanunk a talajnak és a növénynek mint a természeti környezet lényeges elemeinek a kutatására. A talaj pl. magában foglalja az élő és élettelen világ egy-egy részét, azok folyamatai összefonódva jelennek meg benne. A talaj termékenységével kapcsolatos - a talajban és növényben lejátszódó - folyamatok jobb megismeréséhez elengedhetetlen, hogy azokat komplexen és összefüggésükben vizsgáljuk, ahogy azok a természetben is megnyilvánulnak. Ezért törekedtem minél több szakembert a kísérleti munkába bevonni, csoportmunkát kialakítani, kollaborálni, hogy e folyamatokat minél sokoldalúbban megvilágíthassuk. Kutatómunkánk néhány kezdeti eredményéről, a kísérlet első éveiben nyert adatok bemutatásával számolhatok itt be. Ezek a tapasztalatok alapjában kollektív munka termékei, melyek már több közleményben is visszatükröződnek (ELEK és KÁDÁR 1975, ELEK - BARTFAYNÉ - KÁDÁR 1976, GAMAL - KÁDÁR - GULYÁS 1975, KÁDÁR és ELEK 1976, KÁDÁR - ZILAHY 1978, KÁDÁR - ELEK - ZILAHY 1976, KÁDÁR et al. 1976, LÁSZTITY és KÁDÁR 1978).

Célunk az volt, hogy a három alapvető tápanyagnak olyan ellátottsági szintjeit és azok kombinációit hozzuk létre a talajban egy kísérleten belül, amelyek az üzemek gyakorlatában ma is megtalálhatók, illetve a jövőben (várhatóan 2000-ig) előfordulhatnak. Az 1973 őszi Nagyhorcsón, 4 éves lucerna elővetemény után indított kísérletünk 4^3 típusú = 64 kezeléssel, 2 ismétléssel, összesen 128 parcellával, ahol mindhárom tápanyagot 4 szinten alkalmaztuk. A PK szinteket egyszeri feltöltéssel hoztuk létre 0, 500, 1000, 1500 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ P_2O_5 , illetve K_2O adaggal és a további években azok utóhatásait figyeljük meg. A N szintjeit az évente adott 0, 100, 200, 300 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ adagok reprezentálják (77. táblázat).

77. táblázat Az 1.84 jelű kísérlet műtrágyázási terve, $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$

NPK szintek	N ⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O
	Feltöltő trágyázás 1973 őszi		
0	-	-	-
1	100	500	500
2	200	1000	1000
3	300	1500	1500

* A N adagjait évente kijuttatjuk

A következő év őszen a $6 \times 13 = 78 \text{ m}^2$ alapterületű parcellákat megfeleztük és az így kapott parcellákon, a feltöltő trágyázással létrehozott PK szintekre, fenntartó trágyázási kezeléseket helyeztünk. A fenntartó kísérletben egységes $\text{N}200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ alaptrágyázás mellett $0, 50$ és $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$, illetve $0, 100$ és $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ adagokat alkalmaztunk évente. Így módunkban áll egy új tényezőt, a fenntartó trágyázás hatékonyságát vizsgálni a talaj eltérő PK szintjein. Az első fenntartó PK adagok megközelítően a terméssel kivont PK mennyiségeinek felelnek meg (mérleg szerinti trágyázás elve), míg a második PK adagok annak kétszeresei. Ilyen úton adatokat kaphatunk arra a kérdésre is, hogy a talaj tápanyag-ellátottsági szintjének változatlanul tartására, tartós megőrzésére a mérleg szerinti trágyázás elvét alkalmazhatjuk-e, illetve ez a trágyázási rendszer és szemlélet egyaránt érvényes lehet-e mind a gyengébben, mind a jól ellátott talajok esetén.

Ilyen jellegű kísérleti adatokkal szinte egyáltalán nem rendelkezünk, pedig hazai viszonylatban is egyre inkább előtérbe kerül a már "jól" ellátottnak minősített talajokon a fenntartó trágyázás kérdése. Egyes vélemények szerint itt a trágyázás a nem teljes visszapótlással is megelégedhet. Tekintettel azonban arra, hogy ez a trágyázási gyakorlat hosszabb időn át törvényszerűen a talajtermékenység csökkenéséhez, a jó ellátottság elvesztéséhez és terméscsökkenéshez vezet, ezért nem látszik célrevezetőnek. Általánosan elfogadott és gyakran hangoztatott vélemény szerint ha a jó ellátottságot elértük, visszatérhetünk a mérleg szerinti trágyázás elvéhez és megelégedhetünk a tápanyagok egyszerű visszapótlásával a talajban. Egyre több nyugat-európai közlemény - amint az irodalmi áttekintésben utaltunk is rá - azonban arra hívja fel a figyelmet, hogy a jól ellátottnak minősített talajainkon a fenntartó trágyázásnak a termés által kivont tápanyagoknak $20-50 \%$ -kal meghaladó többletét is magában kell foglalni a tápanyag-ellátottsági szint sikeres fenntartása érdekében. Amint látható, a gyakorlati agrokémia két összefüggő alapkérdéséről van itt szó - milyen tápanyag ellátottsági szintig kell talajainkat feltölteni és az elért optimális ellátottságot miként lehet fenntartani?

A PK műtrágyákat, valamint a N műtrágya felét őszi szántás előtt, a N második felét tavasszal fejtápanyagként juttattuk a talajba 25% -os pétisó, 18% -os szuperfoszfát és 40% -os kálisó formájában. Termesztett növényünk a kísérlet első két évében Kavkaz fajtájú őszi búza, a második két évben pedig Mv-380 fajtájú kukorica volt. A kétévenkénti növényváltással szeretnénk a főbb $8-10$ kultúrnövényünk tápanyagreakcióját megismerni, tápanyagforgalmát jellemezni. Adatokat kívánunk egyúttal szolgáltatni a talajvizsgálati eredmények, termés és a növényi összetétel összefüggéséhez, hogy azokat a növényanalízisnek mint műtrágyaigény-becslési módszernek adaptálásához felhasználhassuk. A tenyésztő folyamán végzett rendszeres növényvizsgálatok kiterjesztése a fontosabb mikroelemek meghatározására, hozzájárulhat a műtrágyák (NPK) növényi mikroelemfelvételre gyakorolt hatásának mélyebb megértéséhez is.

A kísérlet tervére vonatkozóan előzetesen több alternatív lehetőséget vizsgáltunk meg. Megállapítható volt, hogy optimálisnak tekinthető:

- 4^3 típusú kísérlet 2 ismétléssel, összesen 126 parcellával, ahol a tényezők (N, P, K) mindegyike 4 szinten szerepel.
- A beállítást követően a kísérlet átalakítása 2×4^3 típusú kísérletté, 128 kezeléssel és 2 ismétléssel, összesen 256 parcellával. Az új tényező a fenntartó trágyázás, a korábbi parcellák felezésével alparcella-tényezőként nyerhető.

Az őszi búza terméseredményei és tápelemforgalma

Mielőtt a kísérleti adatok bemutatására rátérnénk megjegyezzük, hogy a továbbiakban az eredménytáblázatok közlésénél a háromirányú táblázatoktól eltekintünk, mert az N x P x K másodrendű kölcsönhatások elhanyagolhatók voltak. A kétirányú táblázatok közül hely hiányában csak azokat közöljük, amelyek az N x P, N x K vagy P x K kölcsönhatásokra kifejezetten utalnak. Amennyiben ezek az elsőrendű kölcsönhatások is elhanyagolhatók, mint pl. a talajvizsgálati adatok, valamint a növényvizsgálati eredmények egy részénél stb. - ott csak a főhatások ismertetésére szorítkozunk. A kétirányú táblázatokban közösek az SzD_{5%} értékek a sorok valamint az oszlopok közötti adatokra, ezért csak egyszer közöljük azokat. A fenntartó trágyázási kísérlet eredményeinek bemutatásától ezúton szintén eltekintünk, mert 1-1 év adataiból nem kívánunk következtetéseket levonni.

78. táblázat Az 1.84 jelű kísérlet szemtermésének MQ értékei

Tényezők	FG	MQ 1974	MQ 1975	MQ 1976
Összes	127			
Ismétlés	1	3,06	2,13	45,21
N	3	8,83	135,68***	955,21***
P	3	1166,47***	1242,65***	1031,90***
N x P	9	12,67	22,89*	46,24
K	3	83,32**	228,59***	128,73**
N x K	9	25,67	10,15	31,17
P x K	9	23,00	11,96	18,01
N x P x K	27	17,39	10,33	26,64
Hiba	63	15,47	8,74	28,95

79. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza termésére, 1974 (8 ismétlés átlagában, légszáráz tömeg t·ha⁻¹)

NPK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
N hatására (PK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,45	0,50	0,52	0,56	0,06	0,51
Virágzáskor	5,30	5,90	6,00	6,00	0,57	5,80
Szem	5,42	5,64	5,53	5,52	0,20	5,53
Szalma	5,62	5,92	6,12	6,10	-	5,94
Pelyva	1,37	1,42	1,42	1,41	-	1,40
P hatására (NK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,22	0,58	0,62	0,60	0,06	0,51
Virágzáskor	3,80	6,40	6,40	6,60	0,57	5,80
Szem	4,60	5,80	5,84	5,86	0,20	5,53
Szalma	4,54	6,37	6,40	6,45	-	5,94
Pelyva	1,30	1,44	1,45	1,43	-	1,40
K hatására (NP átlagai)						
Bokrosodáskor	0,56	0,54	0,48	0,45	0,06	0,51
Virágzáskor	5,60	6,10	5,70	5,70	0,57	5,80
Szem	5,38	5,54	5,60	5,61	0,20	5,53
Szalma	5,94	6,01	5,95	5,85	-	5,94
Pelyva	1,39	1,40	1,44	1,40	-	1,40

Mintavétel ideje: Bokrosodás IV.12., Virágzás VI.11., Aratás VII.23.

A 78. táblázatban a kísérlet szemtermésének MQ értékeit tüntettük fel. A táblázat adatai arra utalnak, hogy mindkét évben a P trágyázás befolyásolta döntően az őszi búza termését, míg a N hatásai csak a második évben jelentkeztek. A K átmenetet képez a P és a N között ilyen tekintetben. A műtrágyázás termésre gyakorolt hatását részletesen a 79-80., valamint a 81-82. táblázatokban tanulmányozhatjuk az évek, kezelések és a tenyészidő függvényében.

80. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza termésére, 1975 (8 ismétlés átlagában, légszáraz tömeg $t \cdot ha^{-1}$)

NPK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
N hatására (PK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,62	0,64	0,70	0,80	0,07	0,69
Virágzáskor	7,00	7,40	7,90	8,00	0,74	7,60
Szem	4,68	5,06	5,16	4,94	0,15	4,96
Szalma	4,86	4,97	5,50	5,36	-	5,17
P hatására (NK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,32	0,80	0,84	0,80	0,07	0,69
Virágzáskor	5,80	8,30	8,00	8,10	0,74	7,60
Szem	4,04	5,14	5,29	5,38	0,15	4,96
Szalma	4,24	5,23	5,55	5,66	-	5,17
K hatására (NP átlagai)						
Bokrosodáskor	0,58	0,74	0,73	0,72	0,07	0,69
Virágzáskor	7,00	7,80	7,80	7,60	0,74	7,60
Szem	4,56	5,03	5,09	5,15	0,15	4,96
Szalma	4,68	5,34	5,35	5,31	-	5,17

Mintavétel ideje: Bokrosodás IV.14., Virágzás VI.27., Aratás VII.18.

A N hatásait elemezve megállapítható, hogy azok fokozatosan csökkennek a tenyészidő folyamán. Így pl. a bokrosodás végén (a növénymintavétel mindenkor parcellánként történt 4-4 fm földfeletti növényi rész felhasználásával) közel 30 %-os az N3 kezelések N0-hoz viszonyított terméstöbblete, virágzáskor 15 % körüli, míg aratáskor a szemtermésben csak az N1 szintek mutatnak enyhe többleteket, különösen a növekvő K szinteken. A talaj kielégítő N ellátottságát a lucerna elővetemény gyökérmaradványainak ásványosodására vezethetjük elsősorban vissza, amely gyakorlatilag feleslegessé tette a tápanyag visszapótlását műtrágyával.

A P-hatások mindkét évben és az egész tenyészidő során dominálnak. Legkifejezettebbek kora tavasszal bokrosodás végén, amikor a zöld termést 2-3-szorosára emelik. A viszonylag kedvező csapadékeloszlású és nedvesebb 1974. és 1975. években a növények a P-ral nem trágyázott parcellákon is pótolni tudták P szükségletük jelentős részét és így a P hatására bekövetkezett terméstöbbletek virágzásra és aratásra nem haladják meg a 20-40%-ot, a kontroll parcellák is viszonylag kielégítő 4,0-4,6 $t \cdot ha^{-1}$ körüli szemtermést adtak. Mint ismeretes a P-hiányok a szárazabb években kifejezettebbek. Az aratáskori 1,2-1,4 $t \cdot ha^{-1}$ szemterméstöbblet azonban nem elhanyagolható és egyben utal a talaj gyenge P ellátottságára is. A P-ral és K-mal

egyaránt nem trágyázott parcellákon 1975-ben már csak 3,54 t·ha⁻¹ a szemtermés mennyisége, tehát a P hiánya még csapadékos évben is igen jelentős, kerekén 1,5 t·ha⁻¹ - a P és K együttes hatásával is számolva 2,0 t·ha⁻¹ szemterméskieséssel járt.

81. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza termésére, 1974 (8 ismétlés átlagában, t·ha⁻¹, légszáraz tömeg)

NPK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Bokrosodás végén, IV.12.						
P0 (N átl.)	0,26	0,24	0,20	0,20		0,22
P1 (N átl.)	0,62	0,59	0,55	0,55		0,58
P2 (N átl.)	0,78	0,64	0,58	0,48		0,62
P3 (N átl.)	0,57	0,68	0,58	0,57		0,60
					0,12	
N0 (P átl.)	0,48	0,46	0,40	0,46		0,45
N1 (P átl.)	0,52	0,48	0,54	0,44		0,50
N2 (P átl.)	0,61	0,54	0,51	0,42		0,52
N3 (P átl.)	0,63	0,56	0,46	0,49		0,56
Átlag (NP átl.)	0,56	0,54	0,48	0,45	0,06	0,51
Virágzáskor, VI.11.						
P0 (N átl.)	3,40	4,10	3,50	4,20		3,80
P1 (N átl.)	6,50	6,60	6,10	6,20		6,40
P2 (N átl.)	6,20	6,60	6,50	6,20		6,40
P3 (N átl.)	6,20	7,20	6,60	6,20		6,60
					1,14	
N0 (P átl.)	5,20	5,60	5,20	5,20		5,30
N1 (P átl.)	5,80	6,00	5,40	6,30		5,90
N2 (P átl.)	5,80	6,40	5,80	5,80		6,00
N3 (P átl.)	5,40	6,60	6,30	5,50		6,00
Átlag (NP átl.)	5,60	6,10	5,70	5,70	0,57	5,80
Szemtermés aratáskor, VII.23.						
P0 (N átl.)	4,64	4,64	4,59	4,54		4,60
P1 (N átl.)	5,49	5,92	5,93	5,94		5,82
P2 (N átl.)	5,68	5,84	5,90	5,92		5,84
P3 (N átl.)	5,70	5,76	5,96	6,04		5,86
					0,39	
N0 (P átl.)	5,46	5,42	5,27	5,54		5,42
N1 (P átl.)	5,45	5,66	5,72	5,72		5,64
N2 (P átl.)	5,27	5,57	5,65	5,64		5,53
N3 (P átl.)	5,34	5,50	5,74	5,52		5,52
Átlag (NP átl.)	5,38	5,54	5,60	5,61	0,20	5,53

A magasabb K-szinteken termés-csökkenést tapasztalhattunk bokrosodáskor 1974-ben, és ezt a jelenséget a fenológiai megfigyeléseink is alátámasztották. Virágzás idejére ez a negatív hatás eltűnt, a szemtermésben pedig szignifikáns terméscsökkenések

jelentkeztek. A következő 1975. évben a K szintek termésmenővelő hatása az egész tenyészidő folyamán megnyilvánult. A műtrágyázást követően 1974-ben bokrosodáskor megfigyelt termésnövekedés a kálium-műtrágya Cl⁻ komponensére vezethető vissza, amelyet talaj- és növényvizsgálatok is igazoltak. Virágzás illetve aratás idejére a mérgező Cl⁻ a mélyebb talajrétegekbe vándorolt. A kalászosok közismerten kevésbé káliumigényesek, így részben meglepő a szisztematikus K-hatás a csernozjom talaj közepes K-ellátottsági szintjén. E jelenség magyarázatára a műtrágyázás és a növényi betegségellenállóság összefüggéseit taglaló fejezetben térünk majd vissza.

82. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza termésére, 1975 (8 ismétlés átlagában, t·ha⁻¹, légszáraz tömeg)

NPK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Bokrosodás végén, IV.14.						
P0 (N átl.)	0,26	0,30	0,36	0,32		0,32
P1 (N átl.)	0,64	0,88	0,80	0,86		0,80
P2 (N átl.)	0,72	0,88	0,92	0,88		0,84
P3 (N átl.)	0,68	0,88	0,84	0,82		0,80
					0,14	
N0 (P átl.)	0,48	0,65	0,70	0,67		0,62
N1 (P átl.)	0,53	0,70	0,68	0,65		0,64
N2 (P átl.)	0,60	0,79	0,66	0,74		0,70
N3 (P átl.)	0,70	0,81	0,87	0,83		0,80
Átlag (NP átl.)	0,58	0,74	0,73	0,72	0,07	0,69
Virágzáskor, VI.27.						
P0 (N átl.)	5,40	5,90	6,30	5,60		5,80
P1 (N átl.)	8,10	8,40	8,80	8,10		8,30
P2 (N átl.)	7,20	8,20	8,60	8,20		8,00
P3 (N átl.)	7,40	8,80	7,60	8,80		8,10
					1,40	
N0 (P átl.)	6,90	7,10	7,30	6,60		7,00
N1 (P átl.)	7,20	7,50	7,80	6,90		7,40
N2 (P átl.)	7,40	7,80	7,80	8,60		7,90
N3 (P átl.)	6,60	8,90	8,20	8,50		8,00
Átlag (NP átl.)	7,00	7,80	7,80	7,60	0,74	7,60
Aratáskor, VII.18.						
P0 (N átl.)	3,54	4,15	4,27	4,19		4,04
P1 (N átl.)	4,67	5,40	5,17	5,30	0,30	5,14
P2 (N átl.)	4,98	5,18	5,46	5,53		5,29
P3 (N átl.)	5,07	5,39	5,46	5,59		5,38
Átlag (NP átl.)	4,56	5,03	5,09	5,15	0,15	4,96
NP szintek	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N0 (K átl.)	4,06	4,79	4,97	4,90		4,68
N1 (K átl.)	3,89	5,26	5,44	5,66	0,30	5,06
N2 (K átl.)	4,12	5,40	5,48	5,62		5,16
N3 (K átl.)	4,08	5,10	5,26	5,32		4,94
Átlag (NK átl.)	4,04	5,14	5,29	5,38	0,15	4,96

83. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza tápelemtartalmára, 1974 (32 ismétlés átlagai, légszáraz tömegre számítva)

NPK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
N % az N szinteken (PK átlagai)						
Bokrosodáskor	3,73	3,99	4,15	4,16	0,08	4,01
Virágzáskor	1,11	1,30	1,46	1,47	0,06	1,34
Szemben	1,92	2,14	2,26	2,31	0,06	2,16
Szalmában	0,42	0,52	0,63	0,65	0,04	0,55
Pelyvában	0,63	0,70	0,79	0,81	0,04	0,74
P ₂ O ₅ % a P szinteken (NK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,61	0,86	0,93	1,01	0,04	0,85
Virágzáskor	0,37	0,45	0,48	0,50	0,03	0,45
Szemben	0,64	0,80	0,83	0,82	0,05	0,77
Szalmában	0,09	0,16	0,19	0,20	0,01	0,16
Pelyvában	0,16	0,23	0,25	0,26	0,01	0,22
K ₂ O% a K szinteken (NP átlagai)						
Bokrosodáskor	3,15	3,81	3,87	3,98	0,12	3,70
Virágzáskor	1,13	1,49	1,63	1,63	0,08	1,47
Szemben	0,34	0,32	0,38	0,38	0,04	0,35
Szalmában	0,66	1,00	1,14	1,22	0,06	1,00
Pelyvában	0,48	0,47	0,47	0,46	0,03	0,47

84. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza tápelemtartalmára, 1975 (32 ismétlés átlagai, légszáraz tömegre számítva)

NPK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
N % az N szinteken (PK átlagai)						
Bokrosodáskor	3,46	3,69	3,81	4,01	0,10	3,74
Virágzáskor	1,30	1,54	1,68	1,76	0,07	1,57
Szemben	2,10	2,20	2,18	2,26	0,08	2,18
Szalmában	0,46	0,65	0,69	0,75	0,05	0,63
P ₂ O ₅ % a P szinteken (NK átlagai)						
Bokrosodáskor	0,60	0,94	1,04	1,12	0,05	0,92
Virágzáskor	0,41	0,55	0,58	0,60	0,02	0,54
Szemben	0,69	0,89	0,92	0,93	0,05	0,86
Szalmában	0,12	0,20	0,24	0,23	0,02	0,19
K ₂ O% a K szinteken (NP átlagai)						
Bokrosodáskor	3,56	4,28	4,41	4,52	0,18	4,19
Virágzáskor	1,32	1,76	1,90	1,94	0,08	1,73
Szemben	0,50	0,46	0,47	0,47	0,04	0,48
Szalmában	0,72	0,94	1,04	1,08	0,08	0,94

A műtrágyázás hatása tükröződött az őszi búza tápelemtartalmán is. Ez utóbbi változása, növekedése mindkét évben és a fejlődés minden fázisában erősen szignifikáns. A %-os növekedéseket tekintve legkifejezettebb a P tartalom változása, különösen pedig a bokrosodás idején. Megállapítható, hogy az analízisadatok mindkét évben eléggé

közéllóak és a műtrágyák hatását nemcsak a termés, hanem a tápelemtartalom is a fejlődés korai szakaszában, bokrosodás végén mutatja a legjobban. Míg a termés görbéje a P1 szinten tetőzik, a P tartalom tovább emelkedik a P2, illetve P3 szinteken luxusfelvételt mutatva (83.-84. táblázat).

A tenyészidő folyamán felvett N, P, K mennyiségeit a két év átlagaiban mutatjuk be. Igen szembetűnőek a kölcsönhatások. Így pl. bokrosodáskor a N felvételt a N trágyázás önmagában nem befolyásolja, 10 kg·ha⁻¹ körül alakul, a P trágyázás duplára emeli, míg az N és P együttes hatása eredményeképpen a bokrosodáskor felvett N 30 kg·ha⁻¹ fölé emelkedik. Hasonló a helyzet a P felvételénél. A N hatása csak a P szinteken érvényesül, a N és P trágyázás együtt a felvett P mennyiségét közel 5-szörösére emeli. A K felvétele az önmagában adott K hatására nem változik, P hatására megduplázódik, míg az N és P, illetve K és P együttes hatása eredményeképpen háromszorosára nő (85. táblázat).

85. táblázat A bokrosodás végén kivont NPK mennyiségek (1974-75. évek, illetve 16 ismétlés átlagában)

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	11,1	21,4	22,7	20,3		18,8
N1	10,0	23,9	25,0	25,9		21,2
N2	11,1	27,5	29,2	27,5	3,8	23,8
N3	11,3	32,4	34,1	32,5		27,5
Átlag	10,8	26,3	27,7	26,5	1,9	22,8
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	1,8	5,5	6,5	6,1		4,9
N1	1,5	5,8	6,6	7,4		5,3
N2	1,6	6,0	7,5	7,6	1,0	5,6
N3	1,6	7,6	8,7	9,1		6,7
Átlag	1,6	6,2	7,3	7,5	0,5	5,6
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	11,5	24,2	26,3	22,6		21,1
N1	9,5	25,4	26,8	27,0		22,1
N2	11,0	26,9	30,8	29,0	4,0	24,4
N3	10,5	32,5	35,5	35,1		28,4
Átlag	10,6	27,3	29,9	28,4	2,0	24,0
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (N átlagában)						
K0	9,8	19,7	25,5	20,1		18,7
K1	10,2	30,6	32,0	32,8		26,4
K2	11,4	28,4	31,9	30,2	4,0	25,4
K3	11,3	30,8	29,9	30,5		25,6
Átlag	10,6	27,3	29,8	28,4	2,0	24,0

A hatások és kölcsönhatások tendenciájukban hasonlóak a virágzás és az aratás idején is. Az összes terméssel felvett N igen jelentős mennyiséget képvisel, 120-180 kg·ha⁻¹ között ingadozik évente, amelynek alig 1/4-e található a szalmában. A virágzás és az érés közötti generatív szakaszban vette fel a növény az összes N mennyiségének 1/3-át, hasonló a helyzet a P felvételét illetően is. A K felvétele ettől eltérő, a generatív szakaszban a növény elvesztette a virágzáskor felvett K mennyiségének közel 1/4-ét (86-89. táblázatok).

86. táblázat A virágzáskor felvett NPK mennyiségei (1974-75. évek, illetve 16 ismétlés átlagában)

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	69,7	79,8	77,8	68,5		73,9
N1	80,4	96,8	97,9	100,0		93,7
N2	78,3	121,4	111,2	125,2	14,6	109,0
N3	78,3	126,9	123,8	126,4		113,8
Átlag	76,6	106,2	102,6	105,0	7,3	97,6
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	20,9	33,0	33,1	33,0		30,0
N1	19,7	35,5	37,9	38,3		32,8
N2	17,7	38,7	40,5	45,5	5,6	35,6
N3	17,2	42,2	42,7	45,8		36,9
Átlag	18,8	37,3	38,5	40,6	2,8	33,8
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	78,4	95,2	92,4	86,1		88,0
N1	93,1	99,9	98,6	96,9		97,1
N2	92,4	129,6	118,7	128,5	16,6	117,3
N3	95,0	132,2	139,3	137,2		125,9
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (N átlagában)						
K0	63,1	85,7	79,6	77,4		76,4
K1	99,9	119,9	112,5	119,3		112,9
K2	97,3	128,3	129,1	121,8	16,6	119,1
K3	98,6	123,0	127,8	130,4		119,9
Átlag	89,7	114,2	112,2	112,2	8,3	107,0

87. táblázat A szemterméssel kivont NPK mennyiségei (1974-75. évek, illetve 16 ismétlés átlagai)

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	91,1	101,4	107,3	101,7		100,3
N1	93,6	122,3	124,2	122,9		115,7
N2	94,9	126,1	124,7	129,9	7,2	118,9
N3	95,6	126,7	129,8	127,6		119,9
Átlag	93,8	119,1	121,5	120,5	3,6	113,7
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	28,8	43,4	44,9	44,9		40,5
N1	29,2	46,0	49,1	53,1		44,3
N2	30,0	47,3	50,1	49,8	4,5	44,3
N3	27,1	47,9	49,5	48,4		43,2
Átlag	28,7	46,1	48,4	49,0	2,2	43,0
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	16,8	21,2	22,0	21,4		20,3
N1	17,8	21,5	22,1	25,2		21,6
N2	18,9	24,2	24,3	24,7	3,7	23,0
N3	17,2	23,9	22,6	21,2		21,2
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (N átlagában)						
K0	16,7	21,5	22,0	21,9		20,5
K1	16,8	21,9	21,2	21,4		20,3
K2	18,7	23,5	23,7	24,8	3,7	22,6
K3	18,4	23,9	24,2	24,2		22,6
Átlag	17,6	22,7	22,7	23,0	1,8	21,5

88. táblázat A szalmaterméssel kivont NPK mennyiségei (1974-75. évek, illetve 16 ismétlés átlagában)

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	21,0	24,3	22,1	24,1		22,8
N1	25,9	30,6	36,6	32,9		31,5
N2	30,0	38,6	43,3	42,4	4,5	38,5
N3	30,6	41,5	45,0	43,9		40,2
Átlag	26,8	33,7	36,7	35,8	2,2	33,2
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	4,3	9,1	10,2	11,9		8,8
N1	4,7	9,9	13,0	12,7		10,8
N2	4,8	11,0	14,3	14,6	4,0	11,1
N3	5,3	11,5	13,9	14,7		11,3
Átlag	4,7	10,3	12,8	13,4	2,0	10,3

88. táblázat folytatása

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	38,9	46,1	48,5	47,5		45,2
N1	41,1	49,9	51,6	50,6		48,3
N2	51,0	60,9	61,1	67,2	12,0	60,0
N3	51,8	65,5	70,0	72,9		65,0
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (N átlagában)						
K0	32,9	36,0	38,1	38,1		36,2
K1	45,3	58,0	55,2	63,0		55,3
K2	53,0	64,8	67,6	62,7	12,0	62,0
K3	51,7	63,7	70,3	74,4		65,0
Átlag	45,7	55,6	57,8	59,5	6,0	54,6

89. táblázat Az ösztterméssel kivont NPK mennyiségei (1974-75. évek, illetve 16 ismétlés átlagában)

Kezelések	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
N kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	121,0	133,9	138,0	134,6		131,8
N1	127,7	163,4	171,6	166,2		157,2
N2	134,9	175,8	179,9	184,7	8,6	168,8
N3	135,6	181,0	187,2	183,0		171,7
Átlag	129,8	163,5	169,1	167,1	4,3	157,3
P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	35,4	55,3	54,8	60,2		52,3
N1	35,9	59,2	65,8	68,9		57,4
N2	36,8	61,6	67,8	68,6	3,0	58,7
N3	34,4	63,3	67,5	66,8		58,0
Átlag	35,6	59,8	64,8	66,1	15	56,5
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (K átlagában)						
N0	63,0	73,4	76,1	74,9		71,8
N1	66,3	77,7	79,9	81,8		76,4
N2	78,0	91,3	91,6	97,8	8,0	89,6
N3	77,2	96,6	99,3	99,9		93,2
K ₂ O kg·ha ⁻¹ (N átlagában),						
K0	57,7	63,7	66,5	65,8		63,4
K1	69,9	86,3	82,4	90,6		82,3
K2	79,8	95,1	97,4	93,2	8,0	91,3
K3	77,0	93,8	100,7	104,7		94,0
Átlag	71,1	84,7	86,7	88,5	4,0	82,7

Műtrágyázás hatása egyéb tápelemek felvételére

Ahhoz, hogy a műtrágyák hatékonyságát tovább növeljük, kétségtelenül több ismeretre kell szert tennünk a növények tápelem-felvételének mechanizmusát illetően. Az egyoldalú makroelem-trágyázással ugyanis tápelem-aránytalanságokat idézhetünk elő a talajban és a növényben, melyek csökkenthetik a fő tápelemek hatékonyságát. A harmonikus növényáplálással szembeni megnövekedett követelmények előtérbe helyezik a mikroelem-ellátottsággal összefüggő kutatómunkát. Egyes vélemények szerint a fejlett mezőgazdasággal rendelkező és sok műtrágyát használó nyugati államokban ugyanis a tápelem-hiánybetegségek száma valójában nem csökkent hanem nőtt, különösen ami a rejtett mikrotápelem-hiányokat illeti (VOISIN 1964, BERGMANN és NEUBERT 1976).

A foszfortrágyázás és a mikroelemfelvétel - elsősorban a Zn - kölcsönhatásaival foglalkozó irodalom eléggé kiterjedt és sokirányú. Általában negatív kapcsolat figyelhető meg a talajoldat P tartalma és a Zn hiánytünetek, valamint a növények P-tartalma és a Zn felvétele között (BROWN et al. 1970, MACGREGOR et al. 1974, SZELEVCOVA 1970, MELTON et al. 1970, LESSMAN - ELLIS 1971, MOKRIEVICS - JAROVJOJ 1970, OLSON et al. 1965, SINGH - TRIPATHI 1974 stb.). A K trágyázás ilyen irányú hatását elemezve gyakran a K-Ca és a K-Mg ionantagonizmus jelenségére hívják fel a figyelmet (GRIMME et al. 1974, SZUKALSKI-ZEMBRECHYNSKA 1967). A növények tápláltsági állapotának megítéléséhez tehát a tápelemek koncentrációinak ismeretén túl azok egymáshoz viszonyított arányainak figyelembevétele is szükséges, mert egy elem túlsúlya kiválthatja más elem vagy elemek hiányát.

A jól ellátott talajok arányának növekedésével a műtrágya-felhasználás egyszerű mennyiségi növelése egy bizonyos határon túl egyre ritkábban jár együtt jelentős terméstudblettel, sőt helyenként termésnövekedést is tapasztalhatunk. Így pl. GYÓRFFY (1976) az állami gazdaságok 1973. évi termésadatait elemezve a műtrágyázás és a szántók aranykorona értékétől függően megállapítja, hogy állami gazdaságainkban a talajok tápanyagszintje általában kielégítő és a termés nagyságát ma már nem a műtrágyaszint, hanem egyéb tényezők döntenek el. Az évi műtrágya-felhasználás és a termés közötti kapcsolat ugyanis meglehetősen laza ($r=+0,18$); míg az aranykorona értékkel szoros ($r=+0,80$) volt.

Egy Nógrád megyei állami gazdaságban szerzett tapasztalatainkról beszámolva arra hívtuk fel a figyelmet (ELEK és KÁDÁR 1975), hogy az intenzív műtrágyázás nemkívánatos mellékhatásai felerősödhetnek és veszélyeztethetik egyes talajok termékenységét. Növény- és talajvizsgálataink szerint ugyanis a kukoricatermések erőteljes csökkenését, illetve a táblák egy részén a növények kipusztulását a talaj elsavanyodására, ebből eredően a mikroelemek felvehetőségének megváltozására vezethettük vissza. Az elsavanyodásra hajlamos talajon a talaj reakcióállapotának megváltozásával több mikroelem felvehetősége olyan mértékben megnőtt, hogy ez a természetű növény pusztulását, mérgezését idézte elő.

Mint ismeretes a mikrotápanyagok felvehetőségét a talajból számos tényező befolyásolja. Hiányuk vagy túlsúlyuk legtöbbször nem abszolút jellegű, hanem valamely talajtulajdonság (pH, CaCO_3 -tartalom, felvehető mikroelemek viszonylagos mennyisége stb.), vagy környezeti tényező mint pl. időjárás (szárazság, túl sok csapadék) függvénye. Bár a növekvő terméseinkkel egyre nagyobb a mikroelem-felvétel, abszolút mennyiségben ez nem számottevő. Így pl. saját vizsgálataink szerint az 5,0-6,0 t \cdot ha $^{-1}$ szemtermésszinten az őszi búza mikroelem-felvétele egyik elem esetén sem haladta meg az 1 kg \cdot ha $^{-1}$ mennyiséget

virágzás idejére (KÁDÁR, ELEK és ZILAHY 1976). A talaj reakcióállapota és a mikroelemek felvehetősége közötti általános összefüggések meglehetősen tisztázottak az irodalomban. Kevés adatunk van azonban arra vonatkozólag, hogy az egyoldalú intenzív makroelem-műtrágyázás milyen mértékben módosítja egyes mezo- vagy mikroelemek felvehetőségét és ez a növénytermesztés mai viszonyai között mennyiben veszélyeztetheti talajaink termékenységét. A továbbiakban ehhez kívánunk adatokat szolgáltatni, illetve kísérletünk néhány ilyen irányú eredményére példaképpen utalni.

A 90. táblázat az őszi búza bokrosodás végén található Mg, Fe, Mn, Cu tartalmának változásáról tájékoztat P és K műtrágyázás hatására, míg a 91. táblázat a Zn tartalom alakulását mutatja be a tenyészidő folyamán a kísérlet második évében, 1975-ben. E táblázatok adatai arról tanúskodnak, hogy a talaj eltérő P és K ellátottságára jelentősen, esetenként 20-30 vagy 50 %-kal is módosíthatja egyes mezo- vagy mikroelemek koncentrációját a növényben.

90. táblázat A PK műtrágyázás hatása az őszi búza egyéb tápelemeinek felvételére bokrosodás végén 1975. (8 ismétlés átlagában, légszáraz súlyra számítva)

PK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Mg, %						
P0	0,27	0,23	0,21	0,21		0,23
P1	0,28	0,21	0,20	0,19		0,22
P2	0,28	0,21	0,19	0,17	0,04	0,21
P3	0,27	0,23	0,19	0,18		0,22
Átlag	0,27	0,22	0,20	0,19	0,02	0,22
Fe, mg·kg ⁻¹						
P0	362	275	228	268		283
P1	215	201	237	208		215
P2	209	192	206	179	78	196
P3	215	211	192	194		203
Átlag	250	219	216	212	39	224
Mn, mg·kg ⁻¹						
P0	96	86	76	78		84
P1	92	85	88	92		89
P2	93	86	86	88	7,2	88
P3	97	90	88	88		91
Átlag	94	87	85	86	3,6	88
Cu, mg·kg ⁻¹						
P0	8,3	7,8	7,5	8,6		8,0
P1	7,8	5,8	7,3	6,2		6,8
P2	5,6	6,7	5,9	6,5	2,0	6,2
P3	7,2	6,2	6,2	5,3		6,2
Átlag	7,2	6,6	6,7	6,6	1,0	6,8

Tekintettel arra, hogy az évek között a tápelemforgalomban lényeges eltérések nem voltak, így a két év átlagában és a főátlagokra szorítkozva tettünk kísérletet a

növényelemzés adatainak értelmezésére. Az adatokat a P és K esetén is elemben adtuk meg, amennyiben az irodalmi határértékek elemre vonatkoznak. Amint a 92. táblázatból kiténik, a P trágyázás csökkentette a N, Zn, Fe tartalmát és növelte a Mn koncentrációját a növénynek. Jelentős a változás a tápelemarányokban: az N/P aránya csaknem felére süllyed, míg a P/Zn és a P/Fe aránya több mint kétszeresére emelkedik, a P túlsúlya megnő a magasabb P szinteken. Hasonló tendencia mutatkozik a P/Mn esetében is. A talaj javuló K ellátottságával csökkent a N, Mg, Mn mennyisége a növényben és módosultak a tápelemarányok.

91. táblázat A PK műtrágyázás hatása az őszi búza Zn tartalmának változására a tenyésztő folyamán, 1975. (8 ismétlés átlagában, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Zn a légszárász anyagban)

PK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Bokrosodáskor, IV.14.						
P0	28,1	27,2	27,8	27,1		28,2
P1	24,7	21,5	21,5	22,1		22,4
P2	24,3	22,1	21,2	20,6	3,3	22,0
P3	22,0	20,3	21,9	21,8		21,5
Átlag	24,7	22,7	23,1	22,9	1,6	23,5
Virágzáskor, VI. 27.						
P0	19,3	18,2	18,8	18,9		18,8
P1	11,8	12,9	11,1	12,7		12,1
P2	11,2	11,5	10,9	10,4	3,0	11,0
P3	11,4	10,1	10,1	9,9		10,4
Átlag	13,4	13,2	12,7	13,0	1,5	13,1
Szemben, VII. 18.						
P0	30,0	29,6	30,0	29,0		29,6
P1	18,7	19,3	18,1	18,4		18,6
P2	18,1	18,4	17,8	17,4	2,2	17,9
P3	16,2	16,8	16,8	17,5		16,8
Átlag	20,7	21,0	20,7	20,6	1,1	20,7
Szalmában, VII. 18.						
P0	14,4	12,7	11,6	11,0		12,4
P1	8,9	9,2	8,0	9,9		9,0
P2	5,8	8,0	6,8	7,5	2,0	7,0
P3	6,1	5,8	6,7	6,7		6,3
Átlag	8,8	8,9	8,3	8,8	1,0	8,7

Felmerül a kérdés, hogy a növényelemzés adatai - a tápelem-tartalmak és azok arányai - mennyiben nyújthatnak segítséget az őszi búza tápláltsági állapotának megítéléséhez? Mint ismeretes, a növényi növekedés az ásványi tápanyagoknak is függvénye. A maximális termések létrehozása a tápelemek bizonyos koncentrációját illetve arányát igényli, melyek adott növényfajra fiziológiai jellemzőknek tekinthetők és bizonyos mértékig függetlenek a környezeti feltételektől. A növényanalitikai ellátottsági határértékeket részben pl. tenyészedeny és homokkultúrákban alakították ki. Az

irodalomban közölt ellátottsági határértékek tehát tájékoztató jelleggel elősegíthetik az általunk nyert növényelemzési adatok értelmezését. Erre utalnak korábbi saját tapasztalataink is (KÁDÁR 1976, KÁDÁR és KRÁMER 1977).

92. táblázat Az őszi búza tápelem-tartalmának és tápelem-arányának alakulása műtrágyázás hatására, bokrosodás végén (1974-75. évek, illetve 64 ismétlés átlagában)

PK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
P-szinteken (NK átlagai)						
N %	4,02	3,88	3,79	3,80	0,06	3,87
P %	0,26	0,39	0,43	0,46	0,02	0,39
Zn mg·kg ⁻¹	25,2	18,7	18,0	17,5	1,1	19,9
Mn mg·kg ⁻¹	86,8	88,7	89,9	90,7	2,5	89,0
Fe mg·kg ⁻¹	306,0	207,0	198,0	201,0	23,5	228,0
N/P aránya	15,5	9,9	8,8	8,3	-	9,9
P/Zn aránya	103,2	208,5	238,9	262,8	-	196,0
P/Mn aránya	29,9	44,0	47,8	50,7	-	43,8
P/Fe aránya	8,5	18,8	21,7	22,9	-	17,1
K-szinteken (NP-átlagai)						
N %	4,08	3,81	3,79	3,81	0,06	3,87
K %	2,78	3,35	3,44	3,53	0,06	3,27
Mg %	0,27	0,23	0,22	0,21	0,04	0,24
M mg·kg ⁻¹	96,4	89,3	86,3	84,6	2,5	89,1
N/K aránya	1,47	1,14	1,10	1,08	-	1,18
K/Mg aránya	10,3	14,6	15,6	16,8	-	13,6
K/Mn aránya	288,4	375,1	398,6	417,3	-	367,0

A 93. táblázatban BERGMANN és NEUBERT (1976) kézikönyve alapján bemutatjuk a bokrosodás vége, illetve szárbaindulás eleje stádiumában található őszi búza tápelem-ellátottsági határértékeit különböző irodalmi források szerint. A saját kísérletünkben kapott növényelemzés-adatokat az irodalmi határértékekkel összevetve a következő megállapításokat tehetjük:

- A talaj eredeti N ellátottsága kielégítő mind a %-os N tartalom, mind az N/P arány alapján. A P-kontroll parcellán N túlsúly, illetve relatív P hiány tapasztalható.
- A talaj eredeti gyenge P ellátottságára az alacsony P %-ok és az N/P arány utalnak.
- K trágyázás nélkül a K ellátottság sem kielégítő. Erre az alacsony K % tartalom mellett a tág N/K arány is iránymutatóul szolgál.
- Az eredetileg is alacsony %-os Zn ellátottság a P trágyázással tovább romlik. A P/Zn aránya arra enged következtetni, hogy P trágyázás nélkül még a 100 körüli P/Zn

aránya nem okozna Zn ellátottsági problémát, azonban a talaj javuló P ellátottsága a P/Zn arányban is kifejezett Zn hiányt indukál.

- A Mg ellátottság közepes, amely a K szinteken enyhén romlik.

- A talaj Fe ellátottsága jó, a P trágyázás hatására azonban a közepes felé tolódik el.

93. táblázat Az őszi búza tápelem-ellátottságának megítélése a bokrosodás végén - szárbaindulás elején kapott növényelemzési adatok alapján, különböző irodalmi források szerint (BERGMANN ÉS NEUBERT: *Pflanzen diagnose und Pflanzenanalyse*, 1976)

Ellátottság	Rossz	Közepes	Jó	Szerző
A tápelemtartalom alapján				
N %	3,0 alatt	3,0-4,0	4,0 felett	NEUBERT et al.
K %	3,2 alatt	3,2-4,5	4,5 felett	ANONYM 1972.
P %	0,29 alatt	0,29-0,41	0,41 felett	ANONYM 1972.
Mg %	0,20 alatt	0,20-0,40	0,40 felett	NEUBERT et al. 1970.
Fe* mg·kg ⁻¹	21 alatt	21-200	200 felett	CASTENSON 1971.
Mn mg·kg ⁻¹	33 alatt	34-65	65 felett	NEUBERT et al. 1970.
Zn mg·kg ⁻¹	29 alatt	29-40	40 felett	NEUBERT et al. 1970.
Cu mg·kg ⁻¹	5 alatt	5- 10	10 felett	NEUBERT et al. 1970.
A tápelemarányok alapján				
N N/P	7,5 alatt	7,5-12,5	12,5 felett	BAIER 1972, 1973.
K N/K	1,7 felett	1,7-1,3	1,3 alatt	BAIER 1972, 1973.
P K/P	12,5 felett	12,5-7,5	7,5 alatt	BAIER 1972, 1973.
Mg K/Mg	22,0 felett	22,0-11,0	11,0 alatt	Számított**
Mn K/Mn	970 felett	970-692	692 alatt	Számított**
Fe P/Fe	195 felett	195-20	20 alatt	Számított**
Mn P/Mn	124 felett	124-63	65 felett	Számított**
Zn P/Zn	141 felett	141-102	102 alatt	Számított**
Cu P/Cu	820 felett	820-410	410 alatt	Számított**

*Kalászhányáskor a felső levelekben, **A tápelemtartalom alapján számítva

A kukorica terméseredményei és tápanyagforgalma

Az 1976. évi kukorica termésének alakulásáról a 94. táblázat tájékoztat. Amint a táblázat adatai tanúsítják, 6 leveles korban a P és K trágyázás átlagosan mintegy 30 %-kal növeli a termést, míg a PK együttes trágyázás hatására a kontroll parcellák légszáraz súlya megkétszereződik. A N trágyázás ugyanakkor szignifikáns termésnövekedést okozott. Ezek a korai tápanyaghatások a száraz május és június viszonyait tükrözik.

A szemtermésben is jelentkezett a N trágyázás depresszív hatása, különösen az évenként adott 300 kg·ha⁻¹ adagokkal trágyázott parcellákon. Az Mv-380 korai fajtájú kukorica igen megsínylette az 1976. évi szárazságot, az átlagos termésszint is alacsonyan

alakult. A talaj javuló P ellátottsága kezdetben a szemtermést növelte, a P1 szinteken mintegy $0,9 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ szemterméstöbblet jelentkezett átlagosan a P kontroll parcellákhoz viszonyítva, majd a magasabb P ellátottságon jelentős szemterméscsökkenés következett be, amely a P3 szinteken már a $1,4 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiséget is elérte a P1 szintekhez viszonyítva. A K trágyázás a szemtermést $1,0\text{-}1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ mennyiségre növelte, a termésgörbe már a K1 és K2 szinteken tetőzött, azonban depresszió a K3 szinteken sem lépett fel.

94. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica termésére, 1976 (8 ismétlés átlagában, légszáráz tömeg)

NPK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
g/20 növény 6 leveles stádiumban, VI. 9.						
P0 N átlagai	17	21	23	23		21
P1 N átlagai	21	29	31	33		28
P2 N átlagai	21	30	35	35		30
P3 N átlagai	21	32	34	35		30
					4,9	
N0 P átlagai	21	32	35	33		30
N1 P átlagai	21	26	32	33		28
N2 P átlagai	21	26	28	30		26
N3 P átlagai	18	27	28	30		25
Átlag	20	27	30	31	2,4	27
Szem $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ töréskor, XI. 8.						
P0 N átlagai	4,12	4,94	4,84	5,05		4,74
P1 N átlagai	4,49	5,72	6,17	6,16		5,62
P2 N átlagai	4,28	4,82	5,42	4,96		4,87
P3 N átlagai	3,35	4,58	4,48	4,60		4,25
					0,55	
N0 P átlagai	4,16	5,22	5,41	5,40		5,05
N1 P átlagai	3,98	5,05	5,34		4,99	4,84
N2 P átlagai	4,05	5,18	5,52	5,21		4,99
N3 P átlagai	4,06	4,61	4,63	5,10		4,60
Átlag	4,06	5,02	5,23	5,18	0,27	4,87

A termés tápanyag-tartalmának vizsgálatából megállapítható, hogy a N tartalom a 6 leveles korban és a szemben lényegesen nem változott a N trágyázás hatására, míg a szárban már enyhén emelkedett. A P tartalom növekedése ezzel szemben igen kifejezett, a 6 leveles korban és a szemtermésben $1,5\text{-}2,0$ -szeresére, a szárban pedig 4 -szeresére emelkedett a P-trágyázás eredményeképpen. A K tartalom a 6 leveles korban és a szártermésben megduplázódott, a szemtermésben azonban nem változott (95. táblázat).

95. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica tápelemtartalmára, 1976 (36 ismétlés átlagai, légszáraz súlyra számítva)

NPK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
N % a N szinteken (PK átlagai)						
6 leveles korban	4,11	3,99	4,04	4,08	0,07	4,05
Szemben	1,65	1,65	1,66	1,68	0,05	1,66
Szárban	0,99	1,07	1,07	1,14	0,06	1,06
P ₂ O ₅ % a P szinteken (NK átlagai)						
6 leveles korban	0,72	1,07	1,18	1,37	0,04	1,08
Szemben	0,66	0,96	1,03	1,01	0,08	0,91
Szárban	0,18	0,36	0,60	0,74	0,05	0,47
K ₂ O % a K szinteken (NP átlagai)						
6 leveles korban	2,37	4,06	5,08	5,41	0,13	4,22
Szemben	0,52	0,52	0,56	0,53	0,05	0,53
Szárban	0,84	1,07	1,32	1,64	0,09	1,21

A kukorica tápanyagforgalmáról a 96-98. táblázatok tájékoztatnak.

96. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica N-forgalmára (N kezelések átlagában, 1976)

Kezelések	K0	K1	K2	K3	Átlag
Szemterméssel kivont N kg·ha ⁻¹					
P0	72,8	86,8	86,4	92,4	84,6
P1	74,4	93,9	107,6	103,5	94,8
P2	69,5	79,7	92,0	85,0	81,6
P3	55,6	77,6	75,1	79,8	72,0
Átlag	68,1	84,5	90,3	90,2	83,2
Százterméssel kivont N kg·ha ⁻¹					
P0	28,4	28,7	30,3	24,4	28,0
P1	29,0	31,4	32,7	36,7	32,4
P2	29,2	32,7	34,2	36,6	33,2
P3	23,8	36,6	36,1	38,0	33,6
Átlag	27,6	32,4	33,3	33,9	31,8
Összes (szem+szár) terméssel kivont N kg·ha ⁻¹					
P0	101,2	115,5	116,7	116,8	112,6
P1	103,4	125,3	140,3	140,2	127,3
P2	98,7	112,4	126,2	121,6	114,7
P3	79,4	114,2	111,2	117,8	105,6
Átlag	95,7	116,8	123,6	124,1	115,0

97. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica P-forgalmára (N-kezelések átlagában, 1976)

Kezelések	K0	K1	K2	K3	Átlag
Szemterméssel felvett P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹					
P0	26,3	32,2	38,2	32,9	32,4
P1	45,2	53,8	60,8	63,6	55,8
P2	38,4	55,7	57,7	56,3	52,0
P3	34,8	45,5	51,2	44,4	44,0
Átlag	36,2	46,8	52,0	49,3	46,0
Szárterméssel felvett P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹					
P0	5,3	5,0	5,6	4,1	5,0
P1	10,8	12,1	10,2	14,0	11,8
P2	14,8	17,2	20,9	22,1	18,8
P3	17,0	24,5	24,2	22,7	22,1
Átlag	12,0	14,7	15,2	15,7	14,4
Összes (szem+szár) terméssel felvett P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹					
P0	31,6	37,2	43,8	37,0	37,4
P1	56,0	65,9	71,0	77,6	67,7
P2	53,2	72,9	78,6	78,4	70,8
P3	51,8	70,0	75,4	67,1	66,1
Átlag	48,2	61,5	67,2	65,0	60,5

98. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica K-forgalmára (N-kezelések átlagában, 1976)

Kezelések	K0	K1	K2	K3	Átlag
Szemterméssel felvett K ₂ O kg·ha ⁻¹					
P0	19,2	22,2	25,6	23,6	22,6
P1	26,0	30,4	36,0	36,8	32,3
P2	22,9	30,4	31,6	30,2	28,8
P3	20,2	24,4	27,8	23,7	24,0
Átlag	22,1	26,8	30,2	28,6	26,9
Szárterméssel felvett K ₂ O kg·ha ⁻¹					
P0	26,5	35,5	39,2	43,9	36,2
P1	23,1	33,0	46,1	54,6	39,2
P2	22,6	33,4	39,7	48,4	36,0
P3	16,3	32,1	42,0	45,7	34,0
Átlag	22,1	33,5	41,8	48,2	36,4
Összes (szem+szár) terméssel felvett K ₂ O kg·ha ⁻¹					
P0	45,7	57,7	64,8	67,5	58,9
P1	49,1	63,4	82,1	91,4	71,5
P2	45,5	63,8	71,3	78,6	64,8
P3	36,5	56,5	69,8	69,4	58,0
Átlag	44,2	60,4	72,0	76,7	63,3

Tekintettel arra, hogy a N hatásai elhanyagolhatók voltak, csak a PxK kétirányú táblázatok bemutatására szorítkozunk. Ami az egyes elemek forgalmát illeti, az összes földfeletti terméssel felvett N mennyisége 80-140 kg N ha⁻¹ között ingadozott, amelyből mintegy 40 % a szártermésben és 60 % a szemtermésben akkumulálódott. A P hozama 32-78 kg P₂O₅ ha⁻¹ között alakult a kezelések függvényében, melynek mintegy 1/3-a a szárban és 2/3-a a szemben található. A K hozam 36-92 kg·ha⁻¹ K₂O mennyiségeket tett ki az egyes kezelésekben, ebből kb. 60% esett a szárra és 40% a szemre.

Ahhoz, hogy az egyes tápelemek növényre gyakorolt hatásait jobban megismerjük, célszerű az egyes terméselemek alakulásáról is információkat szereznünk. Ilyenek pl. a töréskori tőszám, ezerszem tömeg. A N trágyázás átlagosan 15, a P trágyázás pedig 64 g-mal csökkentette, míg a K trágyázás mintegy 43 g-mal növelte a kukorica ezerszemsúlyát. Ezek a változások statisztikailag is igazolhatók (99. táblázat). A P és K ellentétes hatásmechanizmusa tükröződött a töréskori tőszámon is. A P mintegy 10 %-kal csökkentette, míg a K trágyázás növelte a tövek számát. A változások statisztikailag itt is bizonyíthatók (100. táblázat).

99. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica ezerszemsúlyára, g (8 ismétlés átlagában, 1976)

Kezelések	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
N átlagában						
P0	313	325	323	320		320
P1	266	302	311	312		297
P2	252	280	296	281	16	277
P3	221	270	263	272		256
Átlag	263	294	298	296	8	287
P átlagában						
N0	275	304	301	301		295
N1	262	297	299	291		287
N2	262	287	307	300	16	289
N3	253	288	287	292		280
Átlag	263	294	298	296	8	287

100. táblázat Műtrágyázás hatása a kukorica tőszámára töréskor (8 ismétlés átlagában, 1976)

Kezelések	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
N átlagában, db/24,5 m ²						
P0	115	120	126	129		122
P1	111	111	116	117		113
P2	108	111	113	109	13	110
P3	102	111	108	115		109
Átlag	109	113	115	117	7	113

Míg az őszi búzában a mintavételezés a nettó terület 4-4 folyóméterén történt parcellánként, addig a kukoricában a nettó területről 20-20 növény föld feletti részét gyűjtöttük be és 40 °C-on történt szárítás, majd darálás után kezelésként határoztuk meg a minták N, P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, B és Cu tartalmát.

A műtrágyázás nemcsak a 6 leveles kukorica zöldsúlyát és makroelem tartalmát, hanem a mikroelemek felvételét is módosította. A P hatására a legtöbb vizsgált tápelem tartalma növekedett a növényben. Ez alól a tendencia alól csak a B és Zn kivétel. Míg a B tartalom nem változott a növekvő P ellátottsággal, addig a Zn koncentrációja mintegy 30 %-kal csökkent. A K ilyen irányú hatását elemezve inkább az ionantagonizmus szembetűnő - csökkent ugyanis a Ca, Mg, P, Fe, Mn és B koncentrációja -, azonban nem változott a Zn és Cu tartalom (101. táblázat).

101. táblázat Műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica tápelemtartalmára (32 ismétlés átlagai, 1976)

PK szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}	Átlag
P hatására (NK átlagai)						
N %	3,91	4,10	4,11	4,11	0,20	4,05
K %	3,40	3,43	3,56	3,64	0,13	3,50
Ca %	0,88	0,98	1,00	1,00	0,04	0,97
Mg %	0,52	0,59	0,59	0,59	0,04	0,57
P %	0,31	0,47	0,51	0,60	0,04	0,47
Fe mg·kg ⁻¹	606,0	662,0	649,0	685,0	61,6	650,0
Mn mg·kg ⁻¹	93,0	132,0	152,0	166,0	6,8	136,0
Zn mg·kg ⁻¹	30,5	21,2	21,8	20,8	2,1	23,6
Cu mg·kg ⁻¹	11,5	12,5	13,7	14,5	0,4	13,1
B mg·kg ⁻¹	7,4	7,1	7,3	7,3	0,4	7,3
K hatására (NP átlagai)						
K %	1,97	3,37	4,22	4,49	0,13	3,50
Ca %	1,22	1,00	0,85	0,79	0,04	0,97
Mg %	0,77	0,59	0,48	0,45	0,04	0,57
P %	0,50	0,47	0,45	0,46	0,04	0,47
Fe mg·kg ⁻¹	735,0	631,0	625,0	610,0	61,6	650,0
Mn mg·kg ⁻¹	147,0	135,0	129,0	132,0	6,8	136,0
B mg·kg ⁻¹	7,7	7,3	7,1	7,0	0,4	7,3

A 101. táblázatban megfigyelhető szinergizmusok (pl. P-N, P-Mn) és antagonizmusok (pl. K-Mn, P-Zn) részben a kísérlet első két évében az őszi búzában végzett vizsgálatok eredményeivel azonos törvényszerűségekre utalnak. Lényeges különbség áll fenn azonban a Fe felvételét illetően. A bokrosodáskori őszi búzához viszonyítva a 6 leveles kukorica Fe tartalma feldúsult és a P hatására nem kifejezett antagonizmusról, hanem tendencia-jelleggel érvényesülő szinergizmusról beszélhetünk.

Ez a jelenség arról tanúskodik, hogy a tápelemek közötti kölcsönhatások részben növény-specifikusak, amelyről a szakirodalom is beszámol (BERGMANN és NEUBERT 1976).

Hasznos tanulságul szolgálhat, ha a fiatal kukorica növény tápelemarányainak változását elemezzük a PK trágyázás függvényében. Ezek a változások valóban jelentősek, hisz pl. a P hatására az N/P, Ca/P, Mg/P, P/Cu aránya mintegy másfélszeresére, míg a P/Zn aránya közel háromszorosára módosul. A kálium hatása nem kevésbé kifejezett, a K/Mn és K/B arányok változása több mint kétszeres, a K/Ca és K/Mg aránya pedig megközelítően négyszeres mértékben tolódik el (102. táblázat). A K/P arányok alakulását külön is bemutatjuk, hogy a P és K hatásait, valamint a PxK kölcsönhatásait is tanulmányozhassuk. (103. táblázat, 5. ábra).

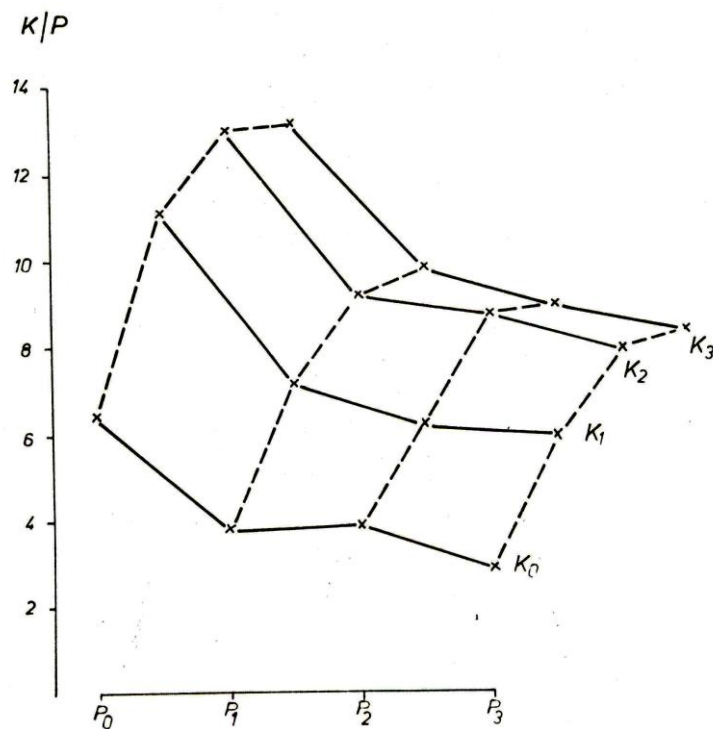
102. táblázat Műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica tápelemarányára (32 ismétlés átlagai, 1976)

PK szintek	0	1	2	3	Átlag
P hatására (NK átlagai)					
N/P	12,6	8,7	8,1	6,8	8,6
Ca/P2,8	2,1	2,0	1,7	2,1	
Mg/P	1,7	1,3	1,2	1,0	1,2
P/Mn	33	36	34	36	35
P/Zn102	222	234	288	199	
P/Cu	270	376	372	414	359
K hatására (NP átlagai)					
K/Ca	1,6	3,4	5,0	5,7	3,6
K/Mg	2,6	5,7	8,8	10,0	61
K/Mn	134	250	327	340	257
K/B	2558	4616	5944	6414	4794

103. táblázat Műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica K/P arányára (N kezelések átlagai, 1976)

PK szintek	K0	K1	K2	K3	Átlag
P0	6,4	11,1	13,0	13,2	10,6
P1	3,8	7,1	9,2	9,8	7,3
P2	3,9	6,2	8,7	8,9	7,0
P3	2,8	5,9	7,9	8,3	6,1
Átlag	4,0	7,2	9,4	9,7	7,5

Ahhoz, hogy e növényelemzés adatokat értelmezni tudjuk és belőle következtetéseket vonjunk le a kukorica tápláltsági állapotára, bemutatjuk a BERGMANN és NEUBERT (1976) által megadott tápelem-ellátottsági határértékeket és az azokból számított tápelemarányokat, melyek az irodalom szerint a 6-8 hetes, kb. 30 cm magas, hasonló fejlettségű növényeket jellemezhetik. A 102., 103. táblázatokban közölt saját adataink, valamint a 104. táblázatban megadott irodalmi határértékek összevetéséből megállapítható, hogy tápelemhiány áll fenn a P0 és K0 parcellákon, a kísérlet talaja eredetileg P-ral és K-mal egyaránt gyengén ellátott.



5. ábra

A K műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica K/P arányára, 1976
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörsök, Mezőföld)

K0 parcella	K %	N/K	K/P	K/Ca	K/Mg
Kísérletben talált:	1,97	2,0	3,8*	1,6	2,6
Irodalmi optimum:	3,0-4,0	1,2	8-10	6-10	

* P-ral kielégítően ellátott parcellán

P0 parcella	P %	N/P	K/P	Ca/P	Mg/P
Kísérletben talált:	0,31	12,6	13,0*	2,8	1,7
Irodalmi optimum:	0,3-0,5	10-11,7	8-10	1-1,4	0,7-1,2

* K-mal kielégítően ellátott parcellán

104. táblázat A 30 cm körüli, 6-8 hetes kukorica tápláltsági állapotának megítélése a növényelemzési adatok alapján (BERGMANN és NEUBERT 1976)

Ellátottság	Alacsony	Kielégítő	Magas
A tápelemtartalom alapján			
N %	3,5 alatt	3,5-5,0	5,0 felett
K %	3,0 alatt	3,0-4,0	4,0 felett
Ca %	0,3 alatt	0,3-0,7	0,7 felett
Mg %	0,2 alatt	0,2-0,6	0,6 felett
P %	0,3 alatt	0,3-0,5	0,5 felett
Fe mg·kg ⁻¹	50 alatt	50-250	250 felett
Mn mg·kg ⁻¹	30 alatt	30-300	300 felett
Zn mg·kg ⁻¹	20 alatt	20-60	60 felett
B mg·kg ⁻¹	5 alatt	5-25	25 felett
Cu mg·kg ⁻¹	5 alatt	5-25	25 felett
A tápelemarányok alapján*			
N N/P	10,0 alatt	10,0-11,7	11,7 felett
Ca Ca/P	1,0 alatt	1,0-1,4	1,4 felett
Mg Mg/P	0,7 alatt	0,7-1,2	1,2 felett
P P/Mn	17 alatt	17-100	100 felett
P P/Zn	83 alatt	83-150	150 felett
Zn P/Zn	150 felett	150-83	83 alatt
P P/Cu	200 alatt	200-600	600 felett
K K/P	8,0 alatt	8,0-10,0	10 felett
K K/Ca	5,7 alatt	5,7-10,0	10 felett
K K/Mg	6,7 alatt	6,7-15,0	15 felett
K K/Mn	133 alatt	133-1000	1000 felett
K K/B	1600 alatt	1600-6000	6000 felett

* A tápelemtartalom alapján számítva

A megfelelő PK műtrágyázás hatására a növényelemzés mutatói az irodalmi optimumokhoz közelednek, illetve elérik azokat. Ez az ellátottság a 200 mg·kg⁻¹ körüli AL-K₂O és a 150 mg·kg⁻¹ körüli AL-P₂O₅ tartományban figyelhető meg a talajban, ahol

korábbi tapasztalatainkkal is összhangban már a termésmaximumokat elértük. A mikroelemellátottságról szólva a Zn problémára kell felhívni a figyelmet. Mint ismeretes, meszes talajokon a felvehető Zn mennyisége egyébként is viszonylag alacsony.

Kísérletünkben a talaj növekvő P ellátottságával a Zn felvétele tovább csökkent és a P/Zn aránya a 100 körüli értékről a közel 290-re toldott el. SHUKLA - PRASAD (1974) vizsgálatai szerint ha a fiatal, 8 hetes kukorica P/Zn aránya tágabb mint 100, akkor a Zn trágyázás hatékony lehet. A P hatásait elemezve reálisnak tűnik az a megállapítás, hogy a nagyobb P szinteken megfigyelt terméscsökkenés Zn hiányával magyarázható esetünkben is. CSUMACSENKO (1969) meszes talajon végzett szabadföldi kísérletei szerint a talaj P ellátottságának növekedésével csökkent a trágyázás hatékonysága, majd bizonyos határon túl termésdepresszió lépett fel, melyet az indukált Zn-hiány okozott. A Zn trágyázás hatékonysága együtt nőtt a talaj P-ellátottságával.

Tekintettel arra, hogy

- hazánk mezőgazdaságilag művelt területének jelentős részén többé vagy kevésbé meszes talajokat találunk,
- kukorica a legnagyobb vetésterülettel rendelkező növényünk és túlnyomóan meszes talajokon termesztjük,
- foszformérlegünk országosan is igen erősen pozitív és talajaink P ellátottsága örvéndesen növekszik,

ezért különös gondot kell fordítanunk a jövőben a Zn ellátottság problémáira a növénynél. Ezt támasztja alá több hazai vizsgálat (PROHÁSZKA és CSERNI 1969, GYÓRI és PALKOVICSNÉ 1974, GYÓRI és MÁTZ 1976) is. A talajok javuló P ellátottsága csökkenti a Zn felvételét a növényben és ez a jelenség veszélyeztetheti a P műtrágyák hatékonyságát, limitálhatja a talaj termékenységét. A növényelemzés képes feltárni az esetleges tápelemhiányokat és aránytalanságokat, így hasznos eszköze lehet a talajtermékenység kontrolljának.

Műtrágyázás és a növényi betegségellenállóság

Az élőlények tápláltsági színvonala és a betegségekkel szembeni viselkedése nem független egymástól. Így pl. az alultápláltság bizonyos betegségek iránti fokozott érzékenységgel jár, míg a túltápláltság más természetű betegségek gyakoriságát idézheti elő. Általánosan ezek az összefüggések ismertek, azonban viszonylag kevés konkrét utalást találunk a szakirodalomban arra vonatkozólag, hogy az egyes főbb tápelemek hiánya vagy túlsúlya milyen betegségek előfordulását befolyásolhatja kultúrnövényeinknél.

Az említett összefüggések és hatásmechanizmusok jobb megismerése különösen aktuálissá válik a nagyüzemi növénytermesztés jelenlegi és jövőbeni viszonyai között, az új fajták, monokultúra, intenzív műtrágyázás és gépesítés mellett. A betegségek terméscsökkenéshez és ezen keresztül a műtrágyázás hatékonyságának csökkenéséhez vezetnek. A kórtani vagy táplálkozástani úton indukált megdőlés pl. akadályozhatja a nagyüzemi gépesített kukoricatermesztést, a kukorica gépi betakarítását, kombájnlását. Mind ez ideig mennyiségi szemlélet uralkodott a növénytermesztésben - növénynemesítés és a műtrágyázás terén is - melynek eredményeképpen elhanyagoltuk a betegségeknek jobban ellenálló fajták létrehozását, jó minőségű, egészséges termés elérését okszerűbb agrotechnikai és trágyázási eszközökkel. A növénytermelés jelenlegi szakaszában

kétségtelenül egyik nagy tartalékunk e téren van, hisz országosan GÁSPÁR (1978) szerint mintegy 20-30 %-ra becsülhető az a termés kiesés, amely a különböző mértékű fertőzöttség miatt előáll, és egyik legfőbb akadálya a fajták genetikai potenciálja jobb kihasználásának.

A műtrágyázás közvetlen célja ugyan a talaj tápelem ellátottságának javítása, azonban az okszerű tápanyag gazdálkodással nemcsak a termés mennyiségét, hanem a rezisztencia-képességét is befolyásoljuk. Az egészséges és harmonikusan táplált növény kevésbé érzékeny a fertőzésekkel szemben. A hiányos táplálkozás miatt ugyanis a megfelelő enzimikus védekező mechanizmusok már nem tudják hatékonyan megvédeni az organizmust a gomba vagy baktérium támadásától. Sokan a fertőzéses betegségeket is a megzavart növényi sejtanycsere következményeinek tekintik, melyet a nagyadagú makroelem-műtrágyázással indukált tápelem (mikroelem) hiánybetegségekre vezetnek vissza (VOISIN 1964).

A termelési specializáció eredményeképpen erősödik a monokultúras jelleg. Kísérleti adatok és természeti tapasztalatok szerint azonban a monokultúrában termesztett növény termése kisebb mint vetésforgóban. Az őszi búza monokultúra depresszív hatása erősebb mint a kukorica monokultúráé, különösen csapadékos években, amikor a gyökér és szártó megbetegedések nagyobb arányban lépnek fel (GYÓRFFY 1975). Országos felmérések adatai alapján KÜKEDI (1975) megállapítja, hogy az agrotechnika és a fertőzöttség mértéke között az összefüggés szoros. A túl korai vetések, illetve a nagy adag N-nel műtrágyázott őszi búza állományában kedvező feltételek jönnek létre a *Fusarium*, lisztharmit és a szárrozsda fejlődése számára.

Általában megfigyelhető az a jelenség, hogy az egyoldalú N trágyázás a növényi szövetek fellazulását előidézve erős gombafertőzések lehetőségeit teremti meg. A K és esetenként a P trágyázás részben ellensúlyozza a N ilyen irányú kedvezőtlen hatását (KRAUSS 1969, DOSZPEHOV 1976, KÜKEDI 1975, BALOGH 1971 stb.). A burgonyánál fellépő levélbarnulás és a tápláltság összefüggéseit tanulmányozva szabadföldi kísérletben BARCLAY et al. (1975) azt tapasztalta, hogy a bőséges N ellátás csökkenti, míg a P trágyázás növeli a levélbarnulás gyakoriságát. Az optimális termés elérése céljából intenzív P trágyázásra volt szükség a P-szegény talajon, amely együtt járt a legnagyobb fertőzöttséggel, ezért a megfelelő fungiciddel történő védekezést javasolták a P adagok csökkentése helyett.

Az egyes tápelemek eltérően befolyásolják a betegségek előfordulását különböző kultúrákon, tehát a tápelemek kölcsönhatásait nem hagyhatjuk figyelmen kívül. Ez a hatás azonban egyetlen tápelem esetén is és ugyanazon kultúrán is eltérő lehet. Így pl. a Rothamsted-i Kísérleti Állomás (Anglia), valamint a Timirjazevi Mezőgazdasági Akadémia (Szovjetunió) szabadföldi tartamkísérleteiben gabonaféléken végzett megfigyelések szerint a N műtrágyázás egyes gombafajok fellépését növelte, míg másokét csökkentette (DOSZPEHOV 1976).

Kísérletünkben a lisztharmit (*Erysiphe graminis*) fertőzöttséget az 1975. évi őszi búza állományában határoztuk meg aratás előtt parcellánként 4x1 m²-es mintaterületeken. A kukorica golyvás üszög (*Ustilago maydis*) fertőzöttségét szintén parcellánként állapítottuk meg 24 fm növényi állományon 1976-ban. E felvételezéseket 1976-ban kiterjesztettük a kukorica szártörésének számbavételére is. Betakarítás idejére ugyanis egyes parcellák állománya teljesen a földön feküdt és ízekre tört szét, míg más parcellákon ez csak részben, vagy egyáltalán nem volt megfigyelhető. A Gödöllői

Agrártudományi Egyetem Növényvédelmi Tanszékén a beteg, tört kukoricaszárakon *Fusarium* fajokat mutattak ki.

A lisztharmat, golyvás üszög, valamint a szártörés fertőzöttségének mértékét úgy állapítottuk meg, hogy az említett mintaterületeken, illetve a szártörésnél a teljes nettó parcellákon megszámláltuk az egészséges tövek (golyvásüszög esetén a csövek) számát, és külön a lisztharmatos, tört, golyvás üszöggel fertőzöttekét. A fertőzöttség mértékét az összes növény %-ában tüntetjük fel a 105. táblázatban.

105. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búza, valamint a kukorica fertőzöttségére (összes növény %-ában)

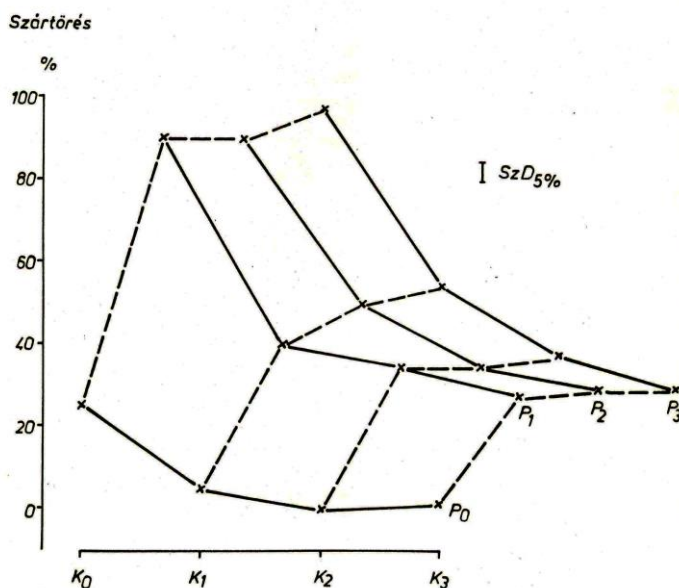
NPK szintek	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
Lisztharmat (őszi búza, 1975)						
N0	30	28	14	26		24
N1	52	42	46	46		46
N2	62	52	58	46	10	54
N3	62	62	52	50		56
Átlag	52	46	42	42	5	46
Golyvás üszög (kukorica, 1976)						
N0	10,0	7,5	7,5	7,5		8,0
N1	15,5	7,5	8,0	8,0		9,5
N2	19,5	13,5	11,5	11,5	2,2	14,0
N3	18,5	15,5	13,5	11,5		14,5
Átlag	16,0	11,0	10,0	9,5	1,1	11,5
Szártörés (kukorica, 1976)						
K0	25	90	90	98		75
K1	5	40	50	55		38
K2	0	35	35	38	10	28
K3	2	28	30	30		22
Átlag	8	50	50	55	5	40

NPK szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
Lisztharmat (őszi búza, 1975)						
N0	34	22	22	18		24
N1	38	48	38	42		46
N2	38	58	52	48	10	54
N3	42	60	52	52		56
Átlag	54	46	42	40	5	46
Golyvás üszög (kukorica, 1976)						
N0	80	8,0	8,0	8,0		8,0
N1	9,5	10,5	10,0	9,5		10,0
N2	12,0	13,0	14,5	16,5	2,2	14,0
N3	13,5	15,0	17,0	13,5		14,5
Átlag	10,5	11,5	12,5	120	1,1	11,5

Amint az adatokból látható, az őszi búza lisztharmat-fertőzöttségének mértékét elsősorban a N trágyázás befolyásolta. Hasonló jelenséget figyelhetünk meg a golyvás üszög esetén is, amelynek gyakorisága N hatására kétszeresére emelkedik. A szártörés mértékét ugyanakkor a tápelem nem befolyásolta. A trágyázás tehát, helyesebben a túltrágyázás (a 4 éves lucerna elővetemény kielégítő N ellátottságot biztosított a N-nel nem trágyázott parcellákon is 1975-ben) kísérleti körülményeink között elsősorban nem az őszi búza szemtermését, hanem a lisztharmattal való fertőzöttségét növelte.

A P trágyázás, illetve a talajok javuló P ellátottsága irodalmi adatokkal megegyezően csökkentette a lisztharmat és a golyvás üszög fellépésének gyakoriságát, részben ellensúlyozva a N kedvezőtlen hatását. A kukorica szártörésének ugyanekkor a tápelem kedvezett. További vizsgálatok szükségesek azonban az okozati összefüggések feltárására, mennyiben írható e jelenség a P által indukált Zn hiány számlájára. Az elmondottak alapján valószínűnek látszik, hogy az elméleti és gyakorlati szempontból nagy figyelmet érdemlő szártörés táplálkozási okokkal is összefügg.

A K trágyázás járt a legpozitívabb eredménnyel e téren, a lisztharmat fertőzöttséget mintegy 14 %-kal, míg a szártörés mértékét átlagosan 50 %-kal csökkentette. Ez alól a pozitív hatás alól csak a golyvás üszög előfordulása kivétel, ahol a K hatása nem volt kimutatható. Mindenesetre felvetődhet egy új szempont a K trágyázás során. A K műtrágya igényének megállapításakor, különösen monokultúrában, célszerűnek látszik az ilyen irányú hatásokat is figyelembe venni és a betegségek csökkentése érdekében nagyobb szükséglettel számolni.



6. ábra

A PK műtrágyázás hatása a kukorica szártörésére, az összes növény %
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Műtrágyázás hatása az őszi búza minőségére

A minőség javítása egyenértékű a termés növelésével. A mennyiségi szemlélet meghaladása feltételezi a növények minőségi összetevőinek vizsgálatát is műtrágyázás hatására. A minőség törvényszerűen előtérbe kell, hogy kerüljön a jövő agrokémiai kutatásaiban, amennyiben a növénytermelés nagy tartalékát képezi, és a műtrágyázás hatékonyságának lényeges eleme. Környezetvédelmi szempontok a műtrágyázás hatására növényekben felhalmozódó káros vegyületekre és elemekre is ráirányítják figyelmünket.

A műtrágyázás célja maximális termések elérése magas minőségi mutatókkal. Mennyiben beszélhetünk azonban minőségi trágyázásról külön is? Jogos ez a kérdés, hisz a termés- mennyiség növekedésével gyakran romlik a minőség, amelyet az egyes agrotechnikai műveleteknél mint öntözés és trágyázás is megfigyelhetünk (DEBRECZENI - MOLNÁR 1975, KOPETZ 1953, 1960, 1965). Míg pl. BEER (1975), DEBRECZENI (1975) a műtrágyák minőségre gyakorolt hatásának fokozott figyelembevételére hívják fel a figyelmet, KOPETZ (1953, 1960, 1965) abból kiindulva, hogy a termésképzés és a tápanyagfelvétel általában nem párhuzamosan fut a legtöbb elemnél, indokoltnak tartja a mennyiségi trágyázás fogalmát a minőségi trágyázástól megkülönböztetni. Ez utóbbi alatt olyan túltrágyázást ért, amellyel bár a termés mennyiségét tovább növelni nem tudjuk, azonban a tápanyagok felvételének javulásával a minőségi paramétereket emelhetjük. A kisebb adagú trágyázás ugyanis gyakran jelentősen növeli a termést, amely azonban együttjárhat a tápelemek hígulásával a tápanyagszegényebb talajokon. Az értékes beltartalmi jellemzők javulása, feldúsulása csak akkor kifejezettebb, amikor már a termésgörbe ellaposodó ágban van.

Kísérletünkben mindkét vizsgálati évben figyelemmel kísértük az őszi búza ásványi tápelemtartalmának változásait a tenyészidő folyamán. Mintavétel parcellánként történt bokrosodásban, virágzásban és aratáskor. A bokrosodáskori eredményekről részben már beszámoltunk. Mind bokrosodás végén, mind virágzáskor pozitív szignifikáns összefüggéseket mutattunk ki a N trágyázás és a zöld termés, termés N, Mg, Mn tartalma, P trágyázás és a zöld termés, termés P, N, Mn tartalma, K trágyázás és a zöld termés, termés K tartalma között.

Negatív volt a kapcsolat a P trágyázás és a termés Zn, Fe tartalma, K trágyázás és a termés Mg, Mn tartalma között.

Az aratáskori szemtermés beltartalmában elsősorban a N és P trágyázás hatása tükröződött. Nőtt a szem összes-N és fehérje-N tartalma a N adagokkal, valamint enyhén emelkedett a Cu tartalma is. Nőtt a fehérje-N aránya az összes-N mennyiségén belül, a kezdeti 80 %-ról 90 %-ra. A P trágyázás mintegy 40 %-kal csökkentette a szem Zn tartalmát, vele párhuzamosan a Mn tartalom közel 20 %-ot emelkedett (106. táblázat).

Az aminosav meghatározásokat BÁRTFAYNÉ végezte magyar gyártmányú félautomata "Aminochrom" analizátorral. A búzaszem hidrolizátum összes aminosav képén szembetűnő a glutaminsav és a prolin nagy mennyisége, valamint a hexonbázisok viszonylag alacsony értékei. Ezek az arányok jellemzőek a búzaszem aminosav összetételére. Az irodalomban általában a N trágyázás szerepét hangsúlyozzák a szem aminosav tartalmának befolyásolásában. Amint a 107. és 108. táblázatok adatai mutatják, a N-nel jól ellátott talajokon a N szintek sem az aminosav tartalomban, sem azok egymáshoz való arányában lényeges változást nem okoztak.

106. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búzaszem néhány minőségi mutatójára (32 ismétlés átlaga, 1975)

NP szintek	0	1	2	3	SzD _{5%}
	N hatására (PK átlagai)				
Összes N %	2,08	2,17	2,20	2,30	0,04
Fehérje N %	1,67	1,69	2,03	2,04	0,08
Cu ppm	6,77	7,34	7,50	7,50	0,30
	P hatására (NK átlagai)				
P %	0,30	0,39	0,40	0,41	0,03
Zn ppm	29,7	18,7	17,9	16,9	1,10
Mn ppm	37,2	44,4	44,7	45,3	2,20

A P trágyázás ezzel szemben előidézett bizonyos eltolódásokat. Az esszenciális aminosavak első csoportja viszonylag állandó maradt, a második csoport mennyisége enyhén csökkent, míg két aminosav tartalma növekedett. A nem esszenciális aminosavak a prolin kivételével növekvő tendenciát mutattak. Kifejezetten csökkent a prolin és a szabad ammónia mennyisége. Ez utóbbi jelenség arra utal, hogy a növények által felvett N biológiai hasznosulása, az NH₃-N aminosavakba való beépülése a talaj P ellátottságának is függvénye. A talaj AL-oldható P tartalmát azonban sem a termés mennyisége, sem minősége növelése céljából nem látszik indokoltnak tovább emelni. Az összes- és különösen az esszenciális aminosavakat tekintve ugyanis a P1 szinten kaptuk a legmagasabb értékeket (107. táblázat).

Mint ismeretes, a triptofán képződéséhez Zn jelenléte szükséges. Tekintettel arra, hogy a triptofán tartalmának meghatározását nem végeztük el, így nem vonhatunk le következtetéseket a növekvő P szinteken fellépő Zn-tartalom csökkenés esetleges triptofántartalmat befolyásoló hatásáról. A közelmúltban GYŐRI és MÁTZ (1976) utaltak a kukorica Zn ellátottságának a szem minőségére illetve triptofán tartalmára kifejtett igen fontos hatására. Ilyen irányú vizsgálataink az 1976. évi kukoricával folyamatban vannak. Tekintettel arra, hogy DEBRECZENI és MOLNÁR (1976) szerint a fehérje-ellátottság Magyarországon megközelítően fele-fele arányban a növényi és állati eredetű fehérjéken alapszik, a növényi eredetű fehérjeforrás közel 50 %-át pedig a gabonafélék adják (ezen belül 80 %-ban a búza), így az őszi búzaszem aminosav összetételének javítására irányuló erőfeszítések is indokoltak.

107. táblázat Műtrágyázás hatása az őszi búzaszem aminosav-tartalmára, 1975. (32 ismétlés, illetve 4 analízis-adat átlagában, g/100 g fehérje) (BÁRTFAYNÉ és KÁDÁR 1975)

P-szintek	P0	P1	P2	P3	Átlag
Esszenciális aminosavak (NK átlagai)					
Threonin	2,29	3,05	2,96	2,53	2,71
Valin	2,50	2,75	2,31	2,54	2,52
Leucin	4,67	5,43	4,67	5,02	4,95
Histidin	1,60	1,91	1,50	1,60	1,65
Összesen (1. csoport)	11,06	13,14	11,44	11,69	11,83
Isoleucin	3,02	2,54	2,05	2,56	2,54
Lysin	2,50	2,41	2,10	2,02	2,26
Arginin	3,64	3,51	3,20	3,47	3,46
Összesen (2. csoport)	9,16	8,46	7,35	8,05	8,26
Methionin	0,83	1,00	0,84	1,08	0,94
Phenylalanin	2,27	2,78	2,75	3,02	2,70
Összesen (3. csoport)	3,10	3,78	3,59	4,10	3,64
Mindösszesen esszenciális	23,32	25,38	22,38	23,84	23,73

107. táblázat folytatása

Nem esszenciális aminosavak (NK átlagai)					
Asparaginsav	3,13	4,14	3,77	3,99	3,76
Serin	2,57	3,03	2,74	2,92	2,82
Glutaminsav	14,50	15,50	15,32	16,14	15,36
Alanin	2,02	2,62	2,31	2,59	2,38
Tyrosin	1,38	1,74	1,71	1,73	1,64
Glycin	2,34	2,96	2,65	2,88	2,71
Összesen (1. csoport)	26,94	28,99	28,50	30,25	28,67
Prolin (2. csoport)	10,84	7,65	7,43	6,88	8,20
Mindösszesen (nem essz.)	37,78	36,64	35,93	37,13	36,87
Mindösszesen	60,1	63,0	58,31	60,97	60,60
Ammónia					
N0-szinten	0,73	0,27	0,23	0,24	0,37
N3-szinten	0,76	0,51	0,52	0,36	0,54
Átlagosn	0,74	0,39	0,37	0,30	0,45

108. táblázat A P műtrágyázás hatása az őszi búzaszem aminosav arányára, 1975 (A 107. táblázat adataiból számítva)

P szintek	P0	P1	P2	P3	Átlag
Esszenciális aminosavak					
1/2 csoport	1,21	1,55	1,56	1,45	1,43
1/3 csoport	3,57	3,48	3,19	2,85	3,25
2/3 csoport	2,95	2,24	2,05	1,96	2,30
Nem esszenciális aminosavak*					
1/2 csoport	2,49	3,79	3,84	4,40	3,50
Nem esszenc/esszenc.	1,62	1,44	1,60	1,56	1,57

1. csoport: Threonin, valin, leucin, histidin; 2. csoport: Isoleucin, lysin, arginin; 3. csoport: Methionin, phenylalanin

* 1. csoport: Asparaginsav, serin, glutaminsav, alanin, tyrosin, glycin; * 2. csoport: Prolin

A talaj AL-módszerrel mért könnyen oldható P tartalma az 58 mg·kg⁻¹-ről 533 mg·kg⁻¹ értékre emelkedett a műtrágyázást követő első évben (109. táblázat). Ahhoz tehát, hogy a talaj AL-P tartalmát 10 mg·kg⁻¹ értékkel emeljük, megközelítően az elméletileg várható 3 kg·ha⁻¹ műtrágya P-ra volt szükség. Ez a "feltöltődési" érték azonban a trágyázást követő harmadik évben már több mint kétszeresére emelkedett. A bevitt P műtrágya hatóanyagának nagyobb része AL-módszerrel ki nem mutatható formákká alakult a talajban. Még kifejezettebben tükröződik az a jelenség az Olsen módszer adatain, mert ez utóbbi módszer oldószere lényegesen enyhébb kioldást jelent és a legérzékenyebb frakciókkal mutat összefüggést - mint pl. a CHAN-JACKSON I, II. frakció - a talajban.

109. táblázat Műtrágyázás hatása a talaj könnyen oldható PK tartalmára (1974-ben 32, 1976-ban 16 analízisadat átlagában)

PK szintek	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹						
1974	58	190	361	533	49	284
1976	65	123	190	290	22	167
Olsen- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹						
1974	12	83	193	316	34	151
1976	16	44	72	123	12	64
K szintek	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
AL-K ₂ O mg·kg ⁻¹						
1974	128	192	285	362	19	242
1976	143	178	212	268	18	200

A bevitt K tartalmának már a műtrágyázást követő első évben is csak kb. fele mutatható ki AL-oldható formában, míg az 1976-ban az AL-oldható növekedés mindössze 1/4-ét reprezentálja a bevitt K mennyiségének. A K mozgékonyabb tápelem és gyorsabban elnyelődik a talajban. Erre utalnak a kísérlet SzD_{5%} értékei, melyek a K esetében lényegesen alacsonyabbak a műtrágyázást követő első évben is, mint a P kísérletben. A P műtrágyázást követően a talaj heterogénné válik, és ez befolyásolhatja a mintavétel megbízhatóságát. Míg 1974-ben 32 ismétlés ellenére az AL-P adatok SzD_{5%} értéke 49; addig 1976-ban 16 ismétléssel 22. Az egyes parcellák szántott rétegében a bevitt P műtrágya fokozatosan, elsősorban a talajművelés hatására keveredik el a talajban.

Műtrágyázás hatása a talaj némely fizikai jellemzőjére

Egyes megfigyelések és laboratóriumi vizsgálatok szerint (MÁTÉ et al. 1974) a különböző műtrágyák, már a gyakorlati műtrágyázás során használt dózisokban, befolyásolják a talaj rheológiai sajátságait és nagy elektrolit tartalmuknál fogva ronthatják közvetlen környezetükben a talaj fizikai tulajdonságait.

Kísérletünkben a talaj szerkezetének romlását a felső szántott rétegben nem lehetett kimutatni, a Cassagrande-módszerrel mért elfolyási határok nem változtak meg lényegesen. Szabadföldi viszonyok között ugyanis az elektrolitok a csapadékvízzel lefelé mozognak, illetve részben mint tápelemeket a növények felveszik és így koncentrációjuk lecsökken a felső rétegben. Erről tanúskodnak a 110. táblázat adatai. Az elektrolitok mélységi megoszlását és mennyiségét 'Sigmond "talajösszeeső-meghatározás" módszerével mértük aratás után 1974-ben a kontroll, valamint a maximális műtrágyaadagú parcellák talajprofiljaiban.

110. táblázat Műtrágyázás hatása az elektrolitok mennyiségére és eloszlására a talajszelvényben (2-2 fúrásanalízis eredményeinek trendje, "összes só" % (KAZÓ és KÁDÁR 1976)

NPK kezelések	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100	100-120	0-80 össz.
	Mintavétel mélysége, cm						
φ	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,12
N3	0,10	0,06	0,09	0,02	0,02	0,02	0,31
P3	0,10	0,10	0,06	0,02	0,02	0,02	0,32
K3	0,05	0,06	0,10	0,11	0,03	0,03	0,38
N3P3K3	0,10	0,12	0,19	0,16	0,09	0,03	0,69
Össz.	0,37	0,36	0,46	0,33	0,18	0,10	1,82

Jelenlegi műtrágyaválasztékunk mellett a műtrágyáknak átlagosan csak kb. 1/3-a tápelem-hatóanyag, míg 2/3-a egyéb ballasztanyag. Ezért a talajmintákban megvizsgáltuk a könnyen oldható tápelemtartalmakat és elvégeztük a vizes kivonatok analízisét is, hogy a tápionokat a kísérő ionoktól elkülönítsük. Amint a 110., illetve 111. táblázatok mutatják, az elektrolitok mozgását és mennyiségét elsősorban a műtrágyák vivőanyagaira vezethetjük vissza a PK esetén.

111. táblázat Műtrágyázás hatása a kicserélhető (NO_3+NH_4) és a Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ , K^+ megoszlására a talajszelvényben (KAZÓ és KÁDÁR 1976)

Kezelések (vizsgált ionok)	0-20	20-40	40-60	60-80	0-80 össz.
	Mintavételi mélység cm-ben				
Bremner-N (NO_3+NH_4), mg%					
N0	3,9	2,3	1,2	1,2	8,5
N1-2	3,4	2,5	1,5	1,3	8,7
N3	<u>4,6</u>	<u>5,9</u>	<u>2,9</u>	2,2	15,6
Vizeskivonat iontartalma, mg/liter					
Ø (Cl^-)	0,19	0,20	0,16	0,19	0,74
K3 (Cl^-)	0,20	0,22	<u>1,16</u>	<u>1,30</u>	2,88
Ø (SO_4^{2-})	0,19	0,18	0,20	0,27	0,84
P3 (SO_4^{2-})	<u>0,70</u>	<u>0,72</u>	0,22	0,26	1,90
Ø (Na^+)	0,11	0,10	0,08	0,08	0,37
K3 (Na^+)	<u>0,33</u>	<u>0,52</u>	<u>0,20</u>	<u>0,15</u>	1,20
Ø (K^+)	0,03	0,02	0,02	0,02	0,09
K3 (K^+)	<u>0,17</u>	0,04	0,02	0,02	0,25

A kilúgzási mélység aláhúzással jelölve

Az AL-oldható PK tartalom növekedése ugyanis csak a felső szántott 0-20 cm rétegben volt kimutatható, ugyanakkor a 40 %-os kálisó 60-80 cm mélységig, míg a 18 %-os szuperfoszfát 40-60 cm mélységig többszörösére növelte az elektrolitok mennyiségét.

A 25 %-os pétisó hatására 40-60 cm mélységig nőtt az elektrolitok mennyisége. A Bremner-módszerrel meghatározott kicserélhető N (NO_3+NH_4) növekedése az N3 kezelésben ezzel párhuzamos, jelentős növekedés szintén a 40-60 cm mélységig figyelhető meg. A pétisóban az elektrolitok a NO_3^- és NH_4^+ tápionokkal azonosíthatók elsősorban. Környezetvédelmi szempontból még arra is fel kell hívni a figyelmet, hogy a talajon a tápanyag-mérleg túl adott N többleteket már fenyegeti a kimosódás veszélye és így fennáll a talajvíz szennyeződésének lehetősége. Míg ugyanis az N1-2 kezeléseknél mért kicserélhető N mennyisége gyakorlatilag nem tért el az N0 kezelés értékeitől (a 100-200 kg N ha⁻¹ sem lépte túl lényegesen az 5,0-6,0 t·ha⁻¹ búzatermés által felvett N mennyiségét), addig az N3 kezelésben 60, sőt 80 cm mélységig feldúsult a kicserélhető N mennyisége (111. táblázat).

A vizeskivonat vizsgálati adatai mutatják - a maximumokat a kiemelés céljából alá is húztuk -, hogy K műtrágyázásnál a 0-40 cm rétegben a K^+ , Na^+ kationok, míg a 40-100 cm rétegben döntően a Cl^- anion található. A P műtrágyázással bevitt SO_4^{2-} anion a 0-40 cm rétegben maradt (111. táblázat). Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a PK műtrágyák elektrolit tartalma elsősorban nem a tápelemekre, hanem a kísérő ionokra vezethető vissza, amelyek a műtrágyafajtától, illetve az ion természetétől függően a talaj felső rétegében koncentrálódhatnak (K^+ , SO_4^{2-}) vagy már az első évi csapadék hatására mélyebb szintekre mosódhatnak és idővel a talajvízbe kerülhetnek (Cl^- , Na^+).

Műtrágyázás hatása a talaj cellulózbontó aktivitására

A talajtermékenység egyik jellemzője a talajban lejátszódó biológiai folyamatok intenzitása. A talaj-növény rendszer anyag- és energiaforgalma a mikroszervezetek tevékenysége révén valósul meg, a mikroszervezetek részt vesznek a talajba kerülő szerves anyagok lebontásában, esetleg káros anyagok detoxikálásában, valamint a talaj tápanyagainak transzformációjában. A talajok biológiai aktivitásának meghatározására alkalmazott módszerek általában a szerves anyagok mineralizációjának mérésén alapulnak, mivel a talajba vitt szerves anyagok lebontása és a biológiai folyamatok intenzitása szoros kapcsolatban áll egymással.

Ilyen módszer a talajok biológiai aktivitásának mérésére széles körben alkalmazott Unger-féle cellulóz-teszt is (UNGER 1960), melyet kísérletünkben alkalmaztunk. Célunk az volt, hogy az intenzív és egyoldalú műtrágyázásnak a talajmikroszervezetekre gyakorolt hatásáról információkat szerezzünk és megvizsgáljuk emellett a cellulózbontó aktivitás, valamint a növény termése közötti kapcsolatot. Munkánk során finomszövésű műszálszövet zacskókba 5 g vattát mértünk be, amelyet előzőleg 105 °C-on kiszárítottunk. A cellulózteszteket parcellánként 4-4 ismétlésben helyeztük el a nettó terület szántott rétegének 10-20 cm mélységű sávjában, ásóval nyitott részekbe, 3 hónap időtartamra, bokrosodás végétől aratásig. A visszamaradt cellulóz meghatározása az izzítási veszteség alapján történt. A vizsgálatokat 1974, 1975. és 1976. években is elvégeztük (112. táblázat).

Az irodalomban viszonylag kevés utalást találunk a P és K műtrágyázás cellulózbontó aktivitást befolyásoló hatásáról. Korábban a N ellátottság szerepét hangsúlyozták elsősorban, amelynek növelése együtt jár a mikroszervezetek intenzívebb tevékenységével. CHANG (1940) már megállapítja, hogy a talaj P tartalmának emelkedése serkentően hat a cellulózbontásra. NOVÁK (1965) arra hívja fel a figyelmet, hogy a P műtrágyázás csak az eredetileg P-ral rosszul ellátott talajon növeli a talajlégzés mértékét és a cellulózbontást. UEBEL (1970) szabadföldi viszonyok között azt találta, hogy 80-160 kg·ha⁻¹ K₂O adaggal megbízhatóan emelték az elbomlott cellulóz mennyiségét, míg a 240 kg·ha⁻¹ K₂O mennyisége további pozitív eredménnyel már nem járt.

Kísérletünk alkalmas arra, hogy az egyes tápelemek közötti kölcsönhatásokat is megfigyeljük, valamint az egyoldalú és túlzott tápelem-ellátottság, a túltrágyázás talajmikroszervezetekre gyakorolt hatását regisztráljuk, talaj- és növényvizsgálati adatokkal jellemezzük. A különböző műtrágyák ilyen irányú hatásának leírása feltételezi ugyanis e tápelemek között lejátszódó kölcsönhatások irányának és mértékének számbavételét, ahogy azok a természetben (talajban) is megnyilvánulnak, valamint az ellátottság és a cellulózbontás közötti összefüggések vizsgálatát olyan kísérleti körülményekre kiterjeszteni, amely lehetőséget ad a túlzott egyoldalú tápelem-ellátottság talajtermékenységét veszélyeztető, mikroszervezetek tevékenységét már gátló hatásának tanulmányozására. Utóbbiakat környezetvédelmi szempontok is indokolják.

Kísérletünkben 1974-ben a K műtrágyázás önmagában, P nélkül nem növelte hanem csökkentette az elbomlott cellulóz mennyiségét. A P szinteken a K1 adagjai azonban már megbízhatóan növelték, míg a magasabb K2, K3 szintek csökkentették az aktivitást. A K műtrágyázás hatása tehát nemcsak a K adagjainak, hanem a P-ellátottságnak is függvénye. A P trágyázás a legkifejezettebben befolyásolta a cellulózbontást, helyenként megkétszerezte a P szegény talajon. A K szinteknél

megfigyeltékhez hasonlóan van azonban egy optimum. A P2, P3 szinteken mért értékek szignifikánsan kisebbek (112. táblázat).

A N trágyázás 1974-ben a legkisebb hatást gyakorolta a mikroszervezetek cellulózbontó tevékenységére. A talaj növények számára kielégítő N ellátottsága kielégítőnek bizonyult a mikroorganizmusok számára is. A talaj P ellátottságát nemcsak a termés mennyisége és minősége, hanem a talajmikroszervezetek tevékenységének serkentése miatt sem célszerű egy bizonyos határ fölé emelni. Bebizonyosodott, hogy a talaj cellulózbontó mikrobiális élőlényei közel azonos tápanyag-ellátottságot igényelnek intenzívebb működésükhöz, mint a magasabb rendű kultúrnövények, illetve az egyoldalú túltrágyázás depresszív hatásától sem mentesek. Ez utóbbi jelenség arra utal, hogy a talajbiológiai vizsgálatok az intenzív kemizálás viszonyai között a talajtermékenység indexéül is szolgálhatnak.

Hasonló eredményeket kaptunk 1975-ben is. Ezek a depresszív hatások és kölcsönhatások azonban az 1976. évben már nem jelentkeztek és mindhárom elem megbízhatóan növelte a biológiai aktivitást a talajban. Amint a talajvizsgálati eredmények mutatták, a PK tápelem nagyobb része leköttődött a műtrágyázást követő harmadik évben. Az elővetemény lucerna gyökérmaradványainak fokozatos ásványosodásával a talaj eredeti N készlete gyengült és erősödött a N trágyázás hatása.

112. táblázat Műtrágyázás hatása a talaj cellulózbontó aktivitására, % (Az eredeti tömeg %-ában)

NP szintek	P0	P1	P2	P3	SzD _{5%}	Átlag
1974, 2 ismétlés átlagában (K0 parcellákon)						
N0	44,0	53,6	62,4	60,6		55,2
N1	45,6	51,0	66,0	50,2		53,2
N2	42,1	57,0	70,7	57,0	9,8	56,7
N3	42,8	55,5	75,6	53,0		56,7
Átlag	43,6	54,3	68,7	55,2	4,9	55,4
1975, 8 ismétlés (K kezelése) átlagában						
N0	35,6	56,9	54,2	51,0		49,4
N1	36,2	60,1	59,7	57,6		53,4
N2	33,0	61,2	57,2	55,3	4,4	51,7
N3	30,4	63,6	56,6	54,1		51,2
Átlag	33,8	60,5	56,9	54,5	2,2	51,5
1976, 8 ismétlés (K kezelése) átlagában						
N0	19,4	19,5	21,4	23,4		20,9
N1	20,8	24,4	25,5	25,8		24,1
N2	21,0	27,1	32,3	30,7	3,0	27,7
N3	23,2	29,8	30,4	33,5		29,2
Átlag	21,1	25,2	27,4	28,3	1,5	25,5
NP átlagában	K0	K1	K2	K3	SzD _{5%}	Átlag
1970	55,2	50,2	38,9	39,4	9,8	45,9
1975	54,1	55,6	51,1	45,0	2,2	51,5
1976	23,4	25,6	26,5	26,5	1,5	25,5

Meg kell említeni, hogy fokozatosan csökkent az elbomlott cellulóz mennyisége az egyes években. Így pl. az abszolút kontroll parcellán az összes cellulóznak 1974-ben 44, 1975-ben 26, míg 1976-ban csak 16 %-a mineralizálódott. Az utóbbi 1976-os száraz évben a kukorica - gyengébb fedettséget biztosítva, valamint nagyobb vízigényét is figyelembe véve - minden bizonnyal hozzájárult a biológiai aktivitás általános szintjének süllyedéséhez. Ismeretes, hogy a mikrobiális tevékenység a csapadékviszonyoknak is függvénye. Feltehetően ilyen irányban hatott az is, hogy míg az első években a lucerna elővetemény nagy tömegű és jó minőségű könnyen bomló szerves anyagot hagyott hátra, addig az őszi búza gyökérmaradványainak sem mennyisége, sem minősége nem kedvezett a nagyobb mérvű mikrobiális tevékenységnek.

2.6. A talaj tápanyag-ellátottságának és termékenységének megítélése növényanalízissel

A műtrágya felhasználás növekedésével együtt nő az igényünk, hogy a talajok tápanyag-szolgáltatását és ezzel a várható műtrágyahatásokat egyre pontosabban határozzuk meg. A növény tápanyagigényének megállapítását célzó kutatások Liebig óta kiemelt helyet foglalnak el az agrokémiában, mert a sablonszerű trágyázás hatékonysága csekély és esetleges. Az utóbbi években mind itthon, mind külföldön tanúi lehetünk a növényanalízis előretörésének az egyéves kultúráknál is. E módszer a többéves kultúráknál (szőlő, gyümölcs) már korábban elterjedt. Alkalmazása azon a feltételezésen nyugszik, hogy a növényi növekedés az ásványi tápanyagok bizonyos koncentrációjának függvénye, melyet meghatározott növényi szervek adott fejlődési stádiumban tükröznek. A növényelemzés feladata tehát, hogy következtetéseket vonjon le a növényi tápelemtartalomról a talaj tápelem-ellátottságára, illetve a trágyaigényre (KÁDÁR 1977c).

Történetileg vizsgálva nem új módszerről van szó, hisz már a nagy francia botanikus SAUSSURE (1804) megkísérelte a növény tápanyagszükségletét szöveteinek kémiai elemzése alapján meghatározni. A múlt század második felében - főként LIEBIG és WOLFF munkássága nyomán - a termékek tápanyagforgalmát, a "kivont" tápanyagmennyiségeket vették alapul, hogy ne vakon trágyázzanak. Azóta azonban a talajvizsgálatok az agrokémiai kutatások homlokterébe kerülve sokat fejlődtek és alapul szolgálhattak az intenzív műtrágyázás bevezetéséhez. Amint arra többen rámutattak, a talajvizsgálatok volumenének növekedése és a műtrágya felhasználás között igen szoros az összefüggés a fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban. A műtrágyák helyes elosztásához, a tápanyagokkal rosszul ellátott területek csökkenéséhez a talajvizsgálatok alapvetően járultak hozzá.

Egyre több jel utal arra, hogy a talajelemzés önmagában ma már nem képes kielégítően előrejelezni a műtrágyahatásokat. Az időszakos talajvizsgálatok ugyanis elsősorban a talaj tápanyag-ellátottságának változását, csökkenését vagy növekedését regisztrálják és ezzel a trágyázási rendszer kialakításában, megválasztásában nyújtanak hathatós segítséget. Tápanyagokkal kielégítően ellátott talajokon fenntartó, a termés által kivont tápanyagok többé-kevésbé egyszerű visszapótlásán alapuló trágyázást folytatunk, míg a rosszul ellátott területeken talajgazdagító vagy feltöltő tápanyag-gazdálkodást tartunk szem előtt.

A főbb makroelemekkel "jól" ellátottnak minősített területeken a növény fejlődése folyamán fellépő tápelemhiányok és aránytalanságok kiderítéséről, esetleges kiegészítő

trágyázás szükségességéről a növényelemzés hasznos információkat adhat, lehetőséget nyújtva a talajvizsgálatokra alapozott trágyázási rendszer kontrolljára. Ehhez járul még, hogy a talaj N ellátottságának megítéléséhez nem rendelkezünk megfelelő talajvizsgálati módszerrel, de a P és K, különösen azonban a mikroelemek felvehető mennyiségének becslésekor is számos hibaforrással kell számolnunk. Így pl. nem ismerjük még eléggé az egyes talajtulajdonságok mint a pH, CaCO₃-tartalom, humusztartalom, mechanikai összetétel stb. tápelem-ellátottsági határértékeket módosító szerepét.

A növényanalízis előtérbe kerülését több más tényező is segítette. Az utóbbi évtizedek kutatásai nyomán jelentősen kibővültek ismereteink a tápelemek felvételét és a makro-, valamint a mikroelemeknek a termésképzésben játszott szerepét illetően. Az új műszeres analitikai eljárások bevezetése - atom-abszorpció, neutronaktiváció, röntgen-fluoreszcencia, automatizált analitikai rendszerek stb. - lehetővé tette a nagyszámú növény minta gyors elemzését, az elektronikus számítógépek felhasználása pedig leegyszerűsítette a kiértékelést. A modern mezőgazdasági termelés fejlődését jellemző specializáció leegyszerűsítette a vetésszerkezetet, terjed a monokultúra és a dikultúra, így az egyéves növények is "többévesekké" válnak, a növényelemzéssel nyert információ jól felhasználható a következő évi műtrágyaszükséglet megállapításánál (igen elterjedt éppen ezért pl. az USA kukorica övezetében a levélanalízis).

A növényanalízis további előnye, hogy míg a talajvizsgálati határértékek bizonyos szempontból mechanikusak, általában nem veszik figyelembe a tápelemek közötti kölcsönhatásokat, addig a növényelemzés éppen az arányosságokra épül, hisz pl. ritkán von le következtetéseket a N igényre a P és K ellátottság ismerete nélkül. Ezzel teljesíti azokat a követeléseket, amelyeket a fiziológia és az agrokémia nagyjai (BOUSSINGAULT, TIMIRJAZEV, PRJANISNYIKOV) fogalmaztak meg: "... magát a növényt kell megkérdezni és meghatározni mi az ami hiányzik". Képes ezért feltárni a műtrágyahatások okait, míg a szabadföldi kísérlet önmagában gyakran csak az eredményt konstatálja. Számosan vallják, hogy a szabadföldi kísérletezés csak a növényelemzés segítségével nyerhet tudományos értéket.

Lehetővé teszi e módszer a tenyészedény kísérletek eredményeinek interpretálását szabadföldi viszonyokra. A citromféléknél pl. az ellátottsági optimumokat humokkultúrákban állapították meg, tekintve, hogy azok egy adott növényfaj esetén fiziológiai állandóknak tekinthetők. A nehézkes és drága szabadföldi kísérletek sűrű hálózata nélkül - a talajvizsgálatokhoz hasonlóan - a növényelemzés is alkalmas mint önálló módszer a műtrágyahatások prognosztizálására. Tájékoztat a talaj tápanyagainak fiziológiai felvehetőségéről, ezért egyre inkább felhasználják az agrokémiai kartogramok pontosítására. Bár a növényanalízissel foglalkozó közlemények száma igen gyorsan nő, nem látszik szükségesnek részletesebb irodalmi áttekintésre törekedni, mert az utóbbi években több kézikönyv és összefoglaló látott napvilágot, melyek e módszer elméleti és gyakorlati oldalát jól megvilágítják. Röviden utalnánk BOLDÜREV (1970), SZOKOLOV és CERLING (1970), MAGNICKIJ (1972), BAIER (1974), BERGMANN és NEUBERT (1976) munkáira.

Növényanalitikai vizsgálatainkat 1973-ban kezdtük el azzal a céllal, hogy a főbb szántóföldi kultúrák műtrágyaigényének becslésére újabb módszert adaptáljunk és ezzel a talajvizsgálatokon alapuló műtrágyázási szaktanácsadás hatékonyságát tovább emeljük. Első munkánk során az 1.2, illetve 1.20 jelű kísérleteket használtuk fel arra,

hogy a talaj könnyen oldható P tartalma, a tenyésztő folyamán vett növényminták NPK %-ai, valamint a szemtermés közötti összefüggéseket vizsgáljuk a kísérlet 12. évében és megkíséreljük egyúttal a talaj- és növényvizsgálati P ellátottsági határértékeket meghatározni, illetve együttes értelmezésüket adni.

A növénymintavétel parcellánként történt bokrosodás végén, kalászoláskor és az érés kezdetén (*113. táblázat*). A mintákat szárítás után kezelésként egyesítettük és az egyes kezeléseket reprezentáló mintákban határoztuk meg az NPK tartalmakat. A vizsgálatok céljaira 16 kezelést emeltünk ki, hogy a talaj javuló P ellátottságának trendjét megfelelően jellemezhessük. A növényelemzés-adatokat elemben adjuk meg, amennyiben az irodalomban így elfogadottabb. A talaj növekvő P ellátottságát jól tükrözték a növényvizsgálati adatok is, így pl. a bokrosodáskori búza P %-a megduplázódott trágyázás hatására. Ugyanakkor jelentősen nőtt az NK tartalom is a növényben, bár az NK trágyázás az egész kísérletben egységes volt. Ez a szinergizmus jelensége, mely mutatja, hogy egy elem hiánya gátolhatja más elemek felvételét, illetve pl. a N trágyázás szükségességét nem bírálhatjuk el csupán a N %-ok ismeretében.

**113. táblázat A P műtrágyázás, talajvizsgálati adatok, növényvizsgálati adatok, valamint a búza szemtermés összefüggése
(4 ismétlés átlagai)**

Kiemelt kezelések	Bevitt P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ 12 év alatt	P-mérleg P ₂ O ₅ kg·ha ⁻¹ vetés előtt	P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹		Bokrosodáskor, 1973. IV. 27.				Szemtermés t·ha ⁻¹	Szem P ₂ O ₅ %
			AL-P	Olsen-P	N %	P %	K %	N/P		
			1972 őszén		a növényben					
1.	-	-170	63	11	3,59	0,20	2,34	18,0	1,67	0,63
2.	80	-104	76	13	3,72	0,21	2,56	17,7	2,32	0,64
3.	160	-35	79	20	3,90	0,24	2,77	16,2	2,78	0,70
4.	240	34	108	20	4,15	0,28	2,59	14,8	3,52	0,74
5.	480	234	123	21	4,45	0,30	2,72	14,8	3,80	0,72
6.	560	302	124	24	4,67	0,34	3,17	13,7	4,17	0,72
7.	640	376	134	38	4,50	0,32	2,92	14,1	4,12	0,75
8.	720	447	150	37	4,40	0,31	2,66	14,2	4,22	0,75
9.	800	514	153	41	4,42	0,35	2,86	12,6	3,72	0,73
10.	880	590	170	41	4,62	0,36	2,92	12,8	4,02	0,74
11.	960	661	174	46	4,67	0,35	2,92	13,3	4,10	0,76
12.	1040	884	200	72	4,90	0,44	2,92	11,1	4,36	0,74
13.	1440	1191	234	65	4,94	0,40	2,99	12,4	4,22	0,78
14.	1520	1257	237	99	4,81	0,42	3,02	11,4	4,18	0,78
15.	1600	1340	257	72	4,77	0,41	2,95	11,6	4,28	0,78
16.	1680	1419	257	80	4,43	0,40	2,86	11,1	4,30	0,78

A 16-18 körüli N/P arány erős N túlsúlyt, illetve P hiányt tükröz, míg a kedvező arány 10-11 körül alakul (113. táblázat).

A talajvizsgálati adatokat jól egészíthetik ki a növényanalízis eredményei, együttes értelmezésük jelentősen növelheti a műtrágyaszükséglet pontosabb meghatározását. Emellett alkalmasnak látszik a termés minőségének előrejelzésére is. Kísérletünkben - a többéves búzamonokultúra körülményei között a szemtermések nem emelkedtek 4,0-4,5 t·ha⁻¹ fölé, a termésgörbe már a talaj 120-150 mg·kg⁻¹ AL- P₂O₅ tartalmánál tetőzött. A talaj könnyen oldható P tartalmának további növekedése tükröződött azonban a szemtermés P %-ában, amelyet a zöld növények analízise előrejelzett (113. táblázat).

A növények tápanyag-tartalma gyorsan változik a tenyészidő folyamán, a növekedéssel párhuzamosan csökken a tápanyagkoncentráció, hígulás lép fel, ezért a fejlődési stádium döntő fontosságú a mintavétel szempontjából. A fejlődés korai szakasza tükrözte differenciáltan a tápanyagviszonyokat (114. táblázat).

114. táblázat Az őszi búza NPK tartalmának változása a tenyészidő, valamint a talaj P ellátottságának függvényében (1973, Kavkáz, 16 ismétlés átlagában, %)

Kezelés/ átlagok	P-ellátottság foka	P-ellátottság, mg·kg ⁻¹		Bokrosodás vége (IV. 27.)		
		AL-P ₂ O ₅	Olsen-P ₂ O ₅	N%	P%	K%
1-4	gyenge	100 alatt	20 alatt	3,84	0,23	2,56
5-8	közepes	100-150	20-40	4,51	0,32	2,87
9-12	jó	150-200	40-60	4,65	0,38	2,90
13-16	nagyon jó	200 felett	60 felett	4,74	0,41	2,96
1-16 (A kísérlet átlagában)				4,44	0,34	2,82
Kezelés/ átlagok	P-ellátottság foka	P-ellátottság, mg·kg ⁻¹		Kalászoláskor (V. 21.)		
		AL-P ₂ O ₅	Olsen-P ₂ O ₅	N%	P%	K%
1-4	gyenge	100 alatt	20 alatt	1,70	0,21	1,41
5-8	közepes	100-150	20-40	1,81	0,24	1,42
9-12	jó	150-200	40-60	1,98	0,26	1,60
13-16	nagyon jó	200 felett	60 felett	1,91	0,27	1,61
1-16 (A kísérlet átlagában)				1,85	0,24	1,51
Kezelés/ átlagok	P-ellátottság foka	P-ellátottság, mg·kg ⁻¹		Éréskor (VI. 18.)		
		AL-P ₂ O ₅	Olsen-P ₂ O ₅	N%	P%	K%
1-4	gyenge	100 alatt	20 alatt	1,35	0,15	0,81
5-8	közepes	100-150	20-40	1,32	0,17	0,83
9-12	jó	150-200	40-60	1,41	0,18	0,93
13-16	nagyon jó	200 felett	60 felett	1,38	0,18	0,89
1-16 (A kísérlet átlagában)				1,36	0,17	0,86

Későbbi vizsgálataink is megerősítették, hogy hazai viszonyaink között az április hónap tekinthető optimálisnak mintavétel céljaira a bokrosodás vége, szárbaindulás

eleje fejlődési stádium (*Feekes 5-6*), amikor az őszi búza magassága 20-30 cm körüli és a 15-20 folyóméter átlagminta anyaga kb. 500-1000 g zöld-, illetve 150-200 g szárazanyagot ad.

Kísérleti körülményeinkhez hasonló meszes csernozjom talajokon, talaj- és növényelemzési adatok együttes figyelembevételével, a P trágyák iránti igény a *115. táblázatban* megadottak szerint javasolható. Ha tehát a talaj P ellátottsága rossz, erős túltrágyázásra, talajgazdagító feltöltő trágyázásra van szükség. Közepes ellátottságon gyenge (a termés, illetve a tervezett termés P tartalmának 1,5-2-szerese) túltrágyázást javasolhatunk, ezzel célunk néhány év alatt elérni a jó ellátottságot. A jó ellátottságon fenntartó trágyázást, a terméssel kivont tápanyagok többé-kevésbé egyszerű visszapótlását tarthatjuk szem előtt. Nagyon jó ellátottságon a P trágyázás néhány éven át szüneteltethető, illetve csak a kisebb adagú "starter" trágyázással is megelégedhetünk.

115. táblázat Az őszi búza foszforműtrágya igényének becslése növény- és talajvizsgálatokkal

AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹ a talajban	Olsen- P ₂ O ₅	P %	N/P arány	P-ellátottság foka	P műtrágya szükséglet*
100 alatt	20 alatt	0,25 alatt	16 felett	gyenge	2,0 felett
100-150	20-40	0,25-0,35	16-13	közepes	2,0-1,5
150-200	40-60	0,35-0,40	13-11	jó	1,5-1,0
200 felett	60 felett	0,40 felett	11 alatt	nagyon jó	1,0 alatt

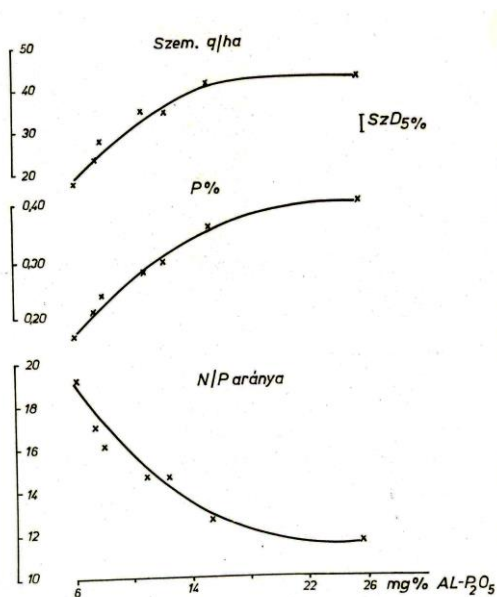
* A tervezett termés P-igényének szorzófaktora

A továbbiakban arra törekedtünk, hogy a növényvizsgálati adatok és a műtrágyahatások közötti összefüggés-vizsgálatokat más tápelemekre is kiterjesszük (elsősorban NPK). Az említett összefüggések vizsgálatánál különösen fontosak a többtényezős trágyázási szabadföldi tartamkísérletek, melyekben eltérőek a tápanyagszintek és -arányok az egyes parcellák talajában. Erre a célra különböző kísérleti helyeken illetve talajokon, mint *Nagyhőrcsök* (mészlepedékes csernozjom), *Martonvásár* (erdőmaradványos csernozjom), *Kompolt* (csernozjom barna erdőtalaj), *Szilvásvár* (agyagbemosódásos barna erdőtalaj), *Órbottyán* (meszes humusz és gyengén humuszos homok) talajain különböző években és fajtákkal beállított trágyázási kísérletekben növényelemzést végeztünk elsősorban őszi búzával.

Az egyes kísérletek eredményeiről korábban már részletesen beszámoltunk (ELEK-KÁDÁR 1975, KÁDÁR 1974b, 1976, KÁDÁR-ELEK 1975, KÁDÁR-KRÁMER 1977, 1978, KÁDÁR-LÁSZTITY 1978, LÁSZTITY-KÁDÁR 1978, 1978a, LÁSZTITY et al. 1978 stb.). Összefoglalva saját vizsgálati eredményeinket, mintegy 10-15 kísérleti év adatait, valamint az irodalmi forrásmunkákra is támaszkodva saját határértékeket is javasoltunk a bokrosodás végén - szárbaindulás elején található őszi búza tápelem-ellátottságának megítélésére a növényelemzés alapján (KÁDÁR-KRÁMER 1977). Az elmúlt évben határértékeinket tovább finomítottuk, melyeket abszolút szárazanyagra számítva a *116. táblázatban* mutatjuk be. A *116. táblázatban* közölt tápelem-ellátottsági határértékek, tájékoztató jelleggel alkalmasnak tekinthetők a műtrágyaszükséglet becslésére szaktanácsadási céllal (KÁDÁR-KRÁMER 1978).

116. táblázat Az őszi búza tápelem-ellátottságának megítélése a szárbaindulás elején kapott növényelemzés-adatok alapján, 1978-ban (Abszolút szárazanyagra számítva, Feekes 5-6)

Ellátottság	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas
N-ellátottság				
N %	3,0 alatt	3,0–4,0	4,0-4,5	4,5 felett
N/P	7,5 alatt	7,5–9,0	9,0-12,0	12,0 felett
N/K	0,8 alatt	0,8-1,0	1,0	1,0 felett
P-ellátottság				
P %	0,30 alatt	0,30 – 0,40	0,40-0,50	0,50 felett
N/P	14 felett	14 - 12	12-9	9 alatt
K/P	14 felett	14 - 12	12-9	9 alatt
K-ellátottság				
K %	2,5 alatt	2,5 – 3,5	3,5-4,5	4,5 felett
N/K	2,0 felett	2,0 – 1,5	1,5-1,0	1,0 alatt
K/P	6,0 alatt	6,0 – 8,0	8,0-10,0	10,0 felett



7.ábra

A P trágyázás hatása az őszi búza termésére, valamint a bokrosodáskori P %-ára és N/P arányára
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

2.7. A feltöltő PK műtrágyázás hatékonysága eltérő termőhelyeken

Korábbi, csernozjom talajon végzett tartamkísérletünkben (1.2 számú kísérlet) megállapítottuk, hogy az említett talaj közepesen ellátottnak tekinthető P-ral, ha az AL-P₂O₅ mg·kg⁻¹ érték 100-150, az Olsen-P₂O₅ mg·kg⁻¹ érték 20-40 közötti tartományban található. Alatta gyenge, felette pedig kielégítő ellátottság valószínű. A növényelemzés adataival jellemezve ez a közepes ellátottsági tartomány 0,25-0,35 P % tartalomhoz kötődött a bokrosodás végi őszi búzában.

A feltöltő P trágyázással kapcsolatos kísérleti munkát szintén csernozjom talajon kezdtük el 240, 480, 960 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagokkal (1.21 számú kísérlet). Amint az őszi búza szemterméstöbbletei igazolták, egy igen rosszul ellátott - 10 év óta foszforral nem trágyázott - talajon még a közel 1000 kg P₂O₅ ha⁻¹ hatóanyag alkalmazása is indokolt lehet, két év alatt 5,0 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet eredményezett. A talaj javuló P ellátottságával a feltöltő adagok hatékonysága csökkent, a közepes ellátottságon a 40-120 kg P₂O₅ ha⁻¹ "normál" adagokkal szemben terméstöbbletet már nem eredményezett.

117. táblázat A kísérleti helyek talajainak főbb agrokémiai jellemzői a szántott rétegben

Kísérleti hely	Kompolt	Nagyhörcsök	Szilvásvár	Órbottyán (A)	Órbottyán (B)
0,02 mm alatti					
frakció %-a	55	40	35	10-15	10-15
A _K kötöttség	45	36	35	28	27
h _y	3,8	2,7	2,2	07	0,6
AL-K ₂ O mg·kg ⁻¹	224	136	135	62	72
K-ellátottság	jó	közepes	közepes	gyenge	Gyenge
Humusz %	2,8	3,3	1,6	1,2	0,9
pH(H ₂ O)	5,8	7,7	6,7	7,1	7,5
pH(KCl)	4,9	7,2	5,8	7,0	7,2
CaCO ₃ %	-	4,8	-	1,0	4,0
y ₁	12,9	-	5,9	-	-
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	52	62	30	100	84
P-ellátottság					
Olsen-P ₂ O ₅ %	41	12	16	37	17
P-ellátottság	jó	gyenge	gyenge	közepes	Gyenge

Talajtípus megnevezése: Kompolt: csernozjom barna erdőtalaj, Nagyhörcsök: mészlepedékes csernozjom, Szilvásvár: agyagbemosódásos barna erdőtalaj, Órbottyán (A): meszes humuszos homok, Órbottyán (B): meszes gyengén humuszos homok

E megelőző tapasztalatok alapján 1973-76. között az ország 4 különböző helyén, tipikus talajokon olyan műtrágyázási kísérleteket állítottunk be, ahol a talaj eltérő P és K szintjeit feltöltő trágyázással - 0, 500, 1000, esetenként 1500 kg·ha⁻¹ P₂O₅, illetve K₂O

adagokkal alakítottuk ki. E kísérletek eredményeiről már több helyen beszámoltunk (KÁDÁR et al. 1976, ELEK-KÁDÁR 1975, LÁSZTITY et al. 1978, LÁSZTITY-KÁDÁR 1978 stb.), illetve az 1.84 számú kísérletet részletesen is taglaltuk. Ezúton megkíséreljük a különböző kísérleti helyeket összevontan is értékelni, a feltöltő P és K trágyázás alkalmazhatóságát a kísérleti helyek függvényében áttekinteni és értelmezni.

Amint a 117. táblázat adataiból kitűnik, a kísérleti helyek között egyaránt képviselve vannak kötött és laza, humuszos és humusz-szegény, meszes és savanyú talajok. E táblázatban a kötöttség szerint rangsorolva mutatjuk be a főbb agrokémiai jellemzőket. Látható, hogy a leiszapolható rész csökkenésével párhuzamosan csökken a kötöttségi szám, az AL-módszerrel meghatározott K-tartalom, valamint a h_y érték a talajban. Többé-kevésbé követi e tendenciákat a humusztartalom is.

A termékenységet befolyásoló főbb talajtulajdonságok - kötöttség, humusztartalom, reakcióállapot - mellett eltérő e talajok P és K ellátottsága is. A műtrágyahatásokat elsősorban, mint ismeretes, a talajok tápanyag-ellátottsága határozza meg. A talajvizsgálati adatok értelmezéséhez (AL-P,K) segítségül szolgálhatnak a 118. táblázatban bemutatott, hazánkban a Keszthelyi Értekezleten elfogadott határértékek, amelyeket az egyes talajtípusokra, illetve talajtulajdonságokra finomítva állapítottak meg (in: SARKADI, 1975). Az adatok összevetéséből arra következtethetünk, hogy a P ellátottság általában "gyenge", bár Kompolt és Órbottyán (A) talaja közeledik a "gyenge közepes"-hez. A K ellátottság a kötöttebb kísérleti helyeken közepes, míg Órbottyán homoktalaján gyenge.

118. táblázat A Keszthelyi Értekezlet talaj PK ellátottsági határértékei az AL-oldható PK-tartalom alapján, a főbb talajtulajdonságok függvényében, (in: Sarkadi, 1975)

Termőhelyi típusok	Ellátottsági kategóriák					
	Igen gyenge	Gyenge	Gyenge-Közepes	Közepes	Sok	Igen sok
AL-P₂O₅ mg·kg⁻¹						
A	20 alatt	21-50	51-80	81-120	121-180	180 felett
B	30 alatt	31-70	71-120	121-180	181-250	250 felett
C	50 alatt	51-100	101-160	161-250	251-350	350 felett
AL-K₂O mg·kg⁻¹						
Homok	50 alatt	51-100	101-150	151-200	201-250	250 felett
Vályog	70 alatt	71-120	121-180	181-240	241-300	300 felett
Agyag	100 alatt	101-160	161-230	231-290	291-350	350 felett

A - Kilúgzott csernozjomok, savanyú erdő és réti talajok, egyéb savanyú agyagos talajok

B - Mészlepedékes és telített csernozjomok, egyéb telített vályogtalajok

C - Meszes Duna-öntés és egyéb karbonátos laza talajok

Az egyes kísérleti helyek P ellátottságának megítélése a NaHCO₃ oldószeren alapuló Olsen-módszer szerint ettől kissé eltérő. Kompolt és Órbottyán (A) jó vagy jó-közepes ellátottságot mutat, míg a többi kísérleti hely változatlanul rosszul ellátottnak tűnik. Eddigi hazai megfigyeléseink szerint a talaj 40 mg·kg⁻¹ feletti NaHCO₃-oldható

P_2O_5 tartalmánál a P műtrágyák hatása már bizonytalanná válik mind meszes, mind savanyú talajokon.

A csapadékviszonyok évenként és kísérleti helyenként eltérők voltak, a lehullott évi csapadék mennyisége 500-800 mm között váltakozott. Míg Nagyhorcsók a szárazabb és melegebb, napfényes kontinentális alföldi jelleget képviseli, Szilvásvárad a nedvesebb, hűvösebb Északi Középhegység klímaviszonyait tükrözi. Kompolt és Órbottyán az átmeneteket jelentik a két éghajlati típus között. Az egyes kísérleti helyeken a műtrágyázási kezelések részben eltértek egymástól, ezért itt csak azon kezeléseket emeljük ki, amelyek minden kísérleti helyen azonosak voltak.

Műtrágyaként 18 %-os szuperfoszfátot, 40 %-os kálisót és 25 %-os pétisót alkalmaztunk. A PK műtrágyákat őszi szántás előtt, a N műtrágyákat megosztva őszi és tavasszal fejtrágyaként juttattuk a talajba. A N alaptrágya mennyisége átlagosan 100-300 között váltakozott az elővetemény, illetve a talaj N-ellátottsága függvényében. Kísérleti növényül őszi búzát, őszi és tavaszi árpát, valamint kukoricát vetettünk a hazai köztermesztésben használt fajták felhasználásával.

A melioratív P műtrágyázás valamennyi vizsgált talajon egy év alatt döntően megváltoztatta az ellátottsági viszonyokat (119. táblázat).

119. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása a talajok AL-PK tartalmára

Termőhely	Év	P ₀ K ₀	P ₁ K ₁	P ₂ K ₂	SzD _{5%}	Átlag
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹						
Kompolt	1975	54	117	198	58	123
	1976	49	86	182	60	106
Nagyhorcsók	1974	58	190	361	49	203
	1975	65	123	190	22	126
Szilvásvárad	1976	30	96	171	23	99
Órbottyán (A)	1976	100	160	203	44	154
	1977	100	160	190	48	150
Órbottyán (B)	1975	92	219	244	92	185
	1977	77	140	191	76	136
AL-K ₂ O mg·kg ⁻¹						
Kompolt	1975	222	266	313	27	267
	1976	227	240	300	42	256
Nagyhorcsók	1974	128	192	285	19	202
	1975	143	178	212	14	178
Szilvásvárad	1976	135	178	226	29	175
Órbottyán (A)	1976	56	90	124	8	90
	1977	69	107	109	16	95
Órbottyán (B)	1975	73	112	135	19	107
	1977	72	97	126	24	98

P₁ = 500, P₂ = 1000 kg·ha⁻¹ P₂O₅, K₁ = 500, K₂ = 1000 kg·ha⁻¹ K₂O

Kompolt és Szilvásvárad savanyú talaja már az 500 kg P₂O₅ ha⁻¹ adaggal a jó-közepes ellátottsági tartományba emelkedik, míg az 1000 kg P₂O₅ ha⁻¹ feltöltés a 118. táblázat határértékei szerint az V. ellátottsági kategória "sok" tartományát

eredményezi. A meszes talajok P-ellátottsága hasonlóképpen átlagosan minden 500 kg P_2O_5 ha⁻¹ adaggal egy-egy ellátottsági tartománnyal emelkedik (119. táblázat). A talajba kerülő műtrágya-P a talaj szilárd fázisával kölcsönhatásba lép, kolloidjain megkötődik. Ez a folyamat talajkémiai oldalról meglehetősen tisztázott és leírt az irodalomban. A meszes talajokon, mint ismeretes, elsősorban a gyengén kötött P és a különböző oldhatóságú kalciumfoszfát frakció kerül előtérbe, míg a savanyú talajokon az alumíniumfoszfát és vasfoszfát. Ilyen irányú vizsgálatok a közelmúltban hazai talajokon is igazolták és megerősítették a korábbi ismereteinket (FÜLEKY 1975, FÜLEKY és KÁDÁR 1975 stb.).

A fenti megfontolások alapján a műtrágya-P talajban történő degradációja szempontjából a talaj kolloidviszonyait, kötöttségét és főként reakcióállapotát hangsúlyozzák. A P lekötődése ugyanakkor időben lejátszódó folyamat, ezért csak tartamhatásban vizsgálható. A feltöltés-elmélet is azon a tapasztalaton alapul, hogy a talajba juttatott műtrágya-P növeli a talaj könnyen oldható P készletét és az így kialakult állapot huzamosabb ideig fenntartható.

Kísérleteinkben megállapítható, hogy a műtrágyázást követő 1-3. években mind a meszes, mind a savanyú talajok átlagában megközelítően 70 kg P_2O_5 ha⁻¹ műtrágya P-ra volt szükség, hogy a talajok AL- P_2O_5 tartalmát 10 mg·kg⁻¹ értékkel emelhessük. A talaj szántott rétegét alapul véve és 3-4 millió kg·ha⁻¹ átlagértékkel számolva elméletileg 3 kg körüli P ha⁻¹ adag eredményezne 10 mg·kg⁻¹ P feltöltődést. A műtrágya P-tartalmának tehát közelítően fele volt kimutatható AL-oldható formában, míg a másik fele más - e módszerrel ki nem mutatható frakciókba épült be a talajban (120. táblázat).

120. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása a talaj AL-oldható PK tartalmára (Az összes kísérleti hely átlagában)

Kezelés	P0K0	P500K500	P1000K1000	Fajlagos*
AL- P_2O_5 mg·kg ⁻¹				
Kötöttebb talajokon	51	122	220	60
Laza homokokon	92	171	207	86
Meszes talajokon	82	166	230	68
Savanyú talajokon	41	99	180	71
Az első évben	67	156	235	59
2. és 3. évben	73	129	188	86
Átlagosan	68	140	210	70
AL- K_2O mg·kg ⁻¹				
Kötöttebb talajokon	171	211	267	104
Laza homokokon	68	103	124	179
Meszes talajokon	90	130	165	132
Savanyú talajokon	180	216	266	116
Az első évben	123	169	217	106
2. és 3. évben	128	156	187	167
Átlagosan	127	164	204	134

* A talaj 10 mg·kg⁻¹ AL-oldható P_2O_5 , illetve K_2O tartalmának emeléséhez szükséges műtrágya hatóanyag.

Kimutatható azonban az évhátás. A műtrágyázást követő első évben az AL-PK értékek nagyobbak, a feltöltődés fajlagos műtrágyaigénye pedig 25-30 %-kal kisebb, mint a későbbi években. A talajok P-állapotában tehát még nem alakult ki az egyensúly. Különösen szembeűnő ez a humuszosabb meszes csernozjomokon, ahol az első évben a műtrágyával bevitt P teljes mennyisége AL-oldható formában maradt, e módszer szerint lekötődés a talajban nem volt kimutatható. Ezzel magyarázható, hogy az évek és a kísérleti helyek átlagában a kötöttebb talajokon kisebb megkötődés, illetve alacsonyabb fajlagos műtrágya-P igény jelentkezett.

A kontroll talajok K ellátottsága - a homokok kivételével - közepes, a homokokon "kevés" volt. Ezek az ellátottsági kategóriák mindössze egy fokozattal javulnak az 1000 kg K₂O ha⁻¹ adaggal. Ahhoz tehát, hogy a talajok K-ellátottságát hasonló mértékben emelhesük, mint a P esetén, megközelítően kétszer annyi K műtrágyára volt szükség. Erre utalnak a fajlagos K feltöltődés mutatói is. A K ugyanis mozgékonyabb tápelem, mint a P, az AL-oldható és a nem oldható formák közötti reakciók gyorsabban játszódhatnak le a talajban, illetve beépül a kristályrácsokba.

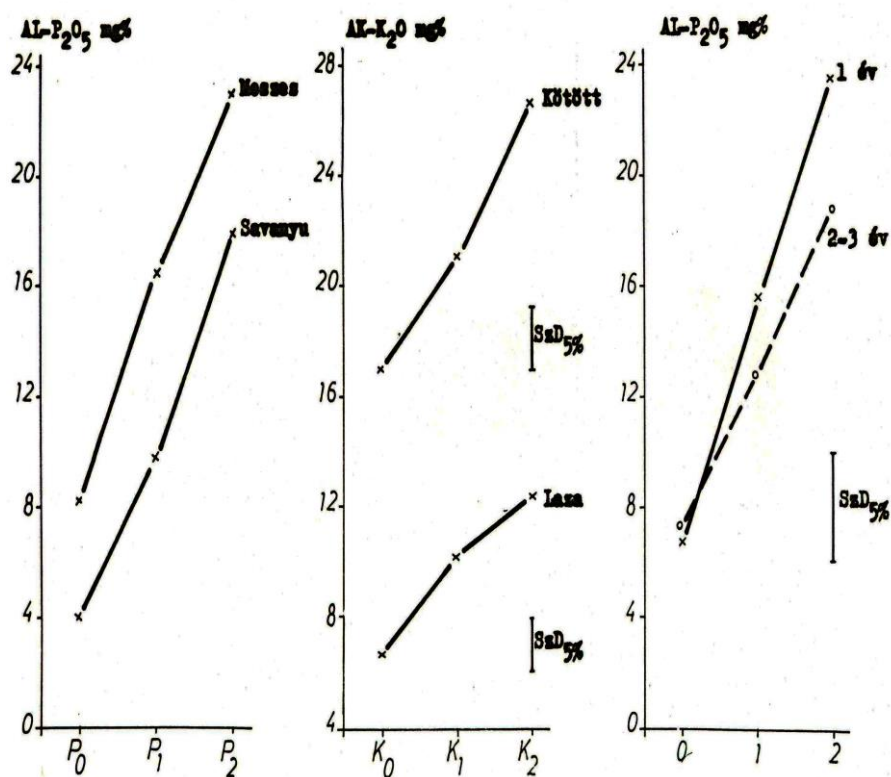
A talajok csökkenő kötöttségi viszonyaival párhuzamosan azonban nem csökken, hanem nő a feltöltés fajlagos műtrágyaigénye. Így pl. Órbottyán laza homokos talaján 200-300 kg·ha⁻¹ K adott 10 mg·kg⁻¹ K növekedést a talajban, míg az erősen kötött kompolti talajon megközelítően csak 150 kg. Ez a jelenség részben azzal magyarázható, hogy feltehetően a bevitt K egy része a homokon a csapadékkal mélyebb talajrétegbe vándorolt. A kimosódás esetleges mértékéről majd további vizsgálatok eredményei alapján alkothatunk ítéletet. A meszes és savanyú talajok átlagát tekintve a feltöltődés mutatói közelállók. Lényeges a különbség azonban az évek között, az egyensúlyi állapot a műtrágyázást követő első év után még nem állt be. Különösen vonatkozik ez a humuszosabb, mészlepedékes csernozjomra, ahol az első évhez viszonyítva az AL-oldható K forma mennyisége a 3. évben felére csökkent (119. és 120. táblázat).

121. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása a kalászosok PK tartalmára (bokrosodás végén - szárbaindulás elején)

Kísérleti hely	Év	P0K0	P500K500	P1000K1000	SzD _{5%}
P % a légszáraz növényben					
Órbottyán (A)	1976	0,36	0,41	0,50	0,09
Kompolt	1976*	0,30	0,44	0,47	0,08
Órbottyán (B)	1976	0,26	0,34	0,38	0,09
Nagyhőrcsök	1975	0,26	0,41	0,45	0,02
Szilvásvár	1976	0,24	0,47	0,55	0,05
Átlag		0,29	0,41	0,47	
K % a légszáraz növényben					
Órbottyán (A)	1976	2,79	4,12	4,06	0,59
Kompolt	1976*	2,81	2,94	3,45	
Órbottyán	1976	2,76	3,58	3,58	0,54
Nagyhőrcsök	1975	2,95	3,55	5,66	0,08
Szilvásvár	1976	2,86	3,88	4,24	0,32
Átlag		2,83	3,61	3,80	

* Őszi árpa. A többi kísérleti helyen őszi búza.

A feltöltő PK műtrágyázás hatására a fiatal növények PK tartalma jelentősen nőtt. Így pl. az első PK feltöltő adag a kalászosok átlagosan 0,29 P% tartalmát (gyenge-közepes P ellátottságát) 0,41 P%-ra emelte és ezzel biztosította a kielégítő ellátottságot. A növényi tápanyagfelvétel - mint ismeretes - nem lineáris. A második feltöltő PK adag az 500 kg P_2O_5 ha⁻¹-hoz viszonyítva már nem okozott nagyobb mérvű P-koncentráció emelkedést. Szilvászváradon és Örbottyánban (A) a növények P tartalma elérte a 0,50 %-ot is (121. táblázat).



8.ábra

A feltöltő PK műtrágyázás hatása a talaj könnyen oldható PK tartalmára
(5 kísérleti hely átlagában, 1974-77)

Az egyes kísérleti helyek adatait elemezve megállapíthatjuk, hogy a PK műtrágyázásban nem részesült eredeti kontroll talajokon a kalászosok P-% tartalma Órbottyán (A) - Kompolt - Órbottyán (B) - Nagyhörsök - Szilvásvárada sorrendben csökkent. A növényelemzés szerint kifejezett P hiány áll fenn Szilvásváradaon, míg a többi kísérleti helyek ellátottsága közepesnek tekinthető, sőt Órbottyán (A) talaja már a kielégítő ellátottság alsó határát súrolja. A P ellátottságnak a növényanalízis szerinti sorrendje lényegében követi a talajok Olsen-módszerrel korábban jelzett P-ellátottságát, mely szerint Kompolt és Órbottyán (A) talaja már jó-közepesen ellátott, míg a többi kísérleti helyeken az ellátottság gyenge.

A növények K tartalmának változását a trágyázás függvényében részben hasonló tendenciák jellemzik, mint a P-tartalmát. A kalászosok átlagosan 2,83 % K tartalma már az első feltöltő PK adaggal a kielégítőnek tartható 3,61 %-os szintre emelkedik. A második feltöltő PK adag lényegesen kisebb mértékben növeli tovább a növények K-tartalmát. Trágyázás hatására itt is Szilvásváradaon és Órbottyánban (A) nőtt a maximális értékre a K %, elérve, sőt meghaladva a 4 %-ot (121. táblázat).

Ha azonban az egyes kísérleti helyeket hasonlítjuk össze, megállapítható, hogy a kontroll talajokon termelt növények K %-ai nem követik a talajok AL-módszerrel meghatározott K ellátottsági viszonyait, melyek a kötöttség függvényében eltérőek voltak. A növényvizsgálati adatok és a talajvizsgálati eredmények között nem látunk összefüggést, a trágyázatlan parcellák növényének K tartalmában lényeges különbségek nem állnak fenn. A kalászosok K-igénye ugyanis csekély, még a viszonylag rosszul ellátott talajokon is ritkán figyelhetünk meg K-hatásokat. A kalászosok mérsékelt K-igényét valamennyi vizsgált talaj képes volt kielégíteni.

Más a helyzet a K-igényes kukoricánál. Így pl. Nagyhörsök mészlepedékes csernozjom talaján a 130-150 mg·kg⁻¹ AL-K₂O tartalom 2 % körüli K%-ot eredményezett a 6 leveles kukoricánál K trágyázás nélkül. Az irodalom szerint 3-4 % K tartalom tekinthető kielégítőnek a növényben (Bergmann és Neubert 1976), amelyet csak az első vagy második feltöltő adaggal értünk el a kísérletben. A növényelemzés adatai szerint tehát a kalászosoknál elsősorban P-hatásokra számíthatunk, míg a kukoricánál K hatások is várhatók a legtöbb kísérleti helyen (121. és 122. táblázat).

122. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica PK tartalmára (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhörsök)

Kezelés	0	500	1000	1500	SzD _{5%}
P-trágyázás hatására, P%					
1976	0,31	0,47	0,51	0,60	0,03
1977	0,38	0,52	0,54	0,59	0,04
K-trágyázás hatására, K%					
1976	1,97	3,37	4,22	4,49	0,13
1977	1,78	2,76	3,80	4,38	0,12

A talaj és növényvizsgálati eredmények alapján arra következtethetünk, hogy a kalászosok szemtermését a P műtrágyázás befolyásolhatja, a feltöltő PK műtrágyázással nyert szemterméstöbbleteket alapvetően a P hatásának tulajdoníthatjuk. Erre utaltak a növényelemzési adatok, melyek szerint a kalászosok mérsékelt K igényét valamennyi vizsgált talaj képes volt kielégíteni. Alátámasztják azonban a szemterméseredmények is. Így pl. még a K-mal gyengén ellátott Órbottyán (B) homoktalaján sem vezetett az egyoldalú K trágyázás terméstöbbletek képződésére (123. táblázat).

123. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása az őszi búza szemtermésére (Gyengén humuszos homok, Órbottyán)

P ₂ O ₅	K ₂ O	Szemtermés az 1975/76/77. évek átlagában		
		t·ha ⁻¹	Különbség	Relatív %
-	-	2,52	-	100
500	-	2,92	0,40	116
1000	-	3,10	0,58	123
-	500	2,76	0,24	110
-	1000	2,31	-0,21	92
500	500	2,59	0,07	103
1000	1000	3,18	0,66	126
SzD _{5%}		0,45	0,45	18

A talajvizsgálati eredmények - elsősorban az Olsen-módszer adatai - és a növényelemzéssel kapott információk alapján két kísérleti hely talaja "jó-közepesen" ellátott P-ral, míg a többi talaj P-ellátottsága gyenge. Együttes PK feltöltő trágyázás a jobban ellátott talajokon mindössze 0,5-0,6 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet eredményezett, statisztikailag éppenhogy igazolhatóan. A P-ral gyengén ellátott talajokon ezzel szemben 1,3-1,8 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet jelentkezik évenként. Órbottyán gyengén humuszos talaján egyéb tényezők, elsősorban a talaj rossz vízháztartása miatt fellépő szárazság, limitálják a termésszinteket és ezzel alacsonyan behatárolták a műtrágyahatásokat. Nagyhőrcsőkön a terméstöbblet már igen erősen szignifikáns 1,5 t·ha⁻¹, míg Szilvásváradon a második feltöltő PK adag is statisztikailag igazolhatóan tovább növelte a termést az első PK adaghoz viszonyítva és összesen 2,91 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet eredményezett a kontrollhoz képest. Ez a növekedés a kontroll %-ában 280 % volt (124. táblázat).

A nagyobb adagokkal végzett feltöltő trágyázás tehát ott hatékony, ahol egyéb tényezők magas termések elérését teszik lehetővé, azonban a talaj egyik vagy másik tápelemben igen szegény és ez a termékenységet erősen limitálja. Vizsgáljuk meg ezt a kérdést még egy oldalról. Mikor lehet indokolt a feltöltő trágyázás a normál adagú trágyázással szemben? A 125. táblázatban a P50K100, illetve P100K200 "normál" adagok hatását hasonlítottuk össze a P500K500, illetve P1000K1000 feltöltő adagokkal. Amint a táblázat adataiból látható, a P-ral jobban ellátott Kompolt és Órbottyán (A)

talaján a feltöltő trágyázás a “normál” adagú trágyaadagokhoz viszonyítva terméstebbleteket nem eredményezett. A gyengébben ellátott Nagyhörscökön és különösen Szilvásváradon a feltöltő trágyázás előnyösnek és statisztikailag igazolhatónak mutatkozott. Feltöltő trágyázás nélkül Nagyhörscökön 0,5; Szilvásváradon 1,0-1,1 t·ha⁻¹ szentermés kieséssel kell számolnunk (125. táblázat).

124. táblázat A feltöltő PK műtrágyázás hatása a kalászosok szentermésére a talajok P-ellátottságának függvényében, t·ha⁻¹

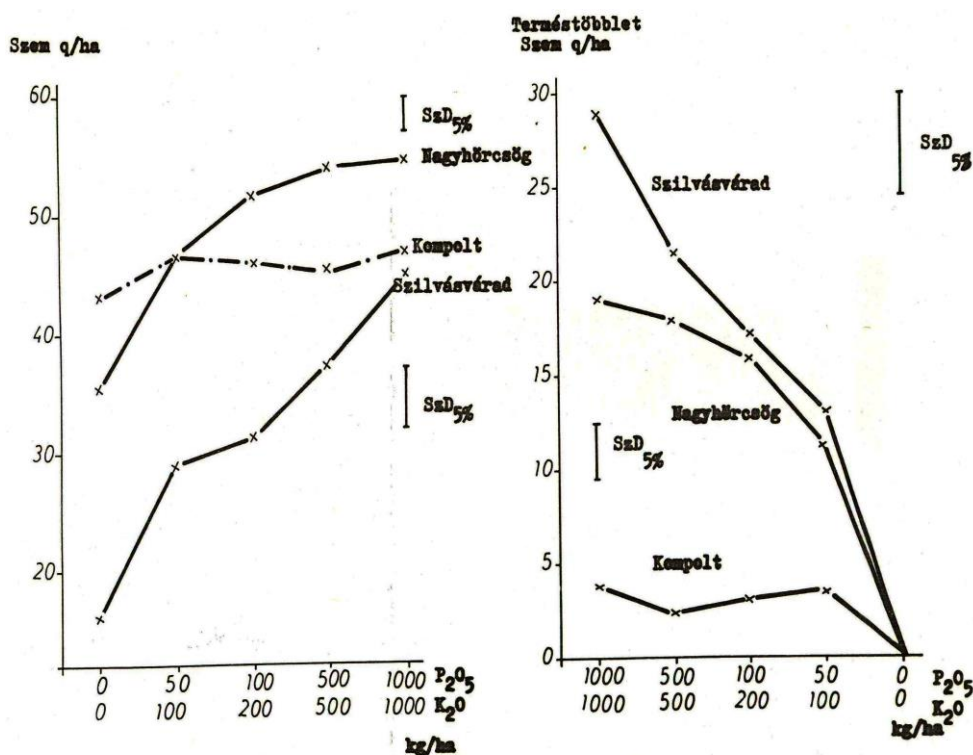
Kísérleti hely	Év	P0K0	P500K500	P1000K1000	SzD ₅ %
“Jó-közepes” P-ellátottságon					
Órbottyán (A)	1976/77	3,41	4,18	4,32	0,80
Kompolt	1975/76	4,31	4,56	4,70	0,30
Átlag		3,86	4,37	4,51	
Többlet a kontrollhoz		-	0,51		0,65
%-ban		100	113	117	
“Gyenge” P-ellátottságon					
Órbottyán (B)	1976/77	2,62	2,84	3,38	0,72
Nagyhörscök	1974/75	4,09	5,66	5,68	0,15
Szilvásvárad	1976	1,61	3,78	4,52	0,56
Átlag		2,77	4,09	4,53	
Többlet a kontrollhoz		-	1,32	1,76	
%-ban		100	148	164	

125. táblázat A “normál” adagú és a feltöltő PK műtrágyázás hatása a kalászosok szentermésére

P ₂ O ₅	K ₂ O	Kompolt		Órbottyán (A)		Nagyhörscök		Szilvásvárad	
kg·ha ⁻¹		1975/76		1976/77		1975		1976	
Kezelés		t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%	t·ha ⁻¹	%
-	-	4,31	100	3,41	100	3,54	100	1,61	100
50	100	4,68		4,35		4,68		2,90	
100	200	4,62		4,13		5,16		3,12	
Átlag (X1)		4,65	108	4,24	124	4,92	139	3,06	190
500	500	4,56		4,18		5,40		3,78	
1000	1000	4,70		4,32		5,46		4,52	
Átlag (X2)		4,63	107	4,25	125	5,43	153	4,15	258
SzD ₅ %		0,30		0,80		0,30		0,56	

(X1) = normál adagú trágyázás; (X2) = feltöltő trágyázás

A feltöltő trágyázás hatékonyságának elbírálásához több szempontot is figyelembe kell vennünk. Ha elfogadjuk, hogy kb. 3 kg búzaszem többlet már kifizetődővé teszi 1 kg P_2O_5 felhasználását, akkor a Szilvásváradon alkalmazott 1000 kg P_2O_5 ha⁻¹ tehát már az első évi 2,9 t·ha⁻¹ szemterméstöbblettel megtérülhet. A melioratív műtrágyázásnál, hasonlóan mint a nagyadagú meszezésnél, abból indulunk ki, hogy az adott talajt tartósan megjavítjuk és magasabb termékenységi szintre emeljük. A feltöltő-melioratív trágyázás költségeit tehát nem egy évre vetítjük, mert jelentős utóhatásra számítunk. A drágább P műtrágya 1000 kg P_2O_5 ha⁻¹ adagja Szilvásváradon már az első évben, Nagyhörceőken a 2-3. évben, Órbottyán (A) talaján a 3-4. évben, Kompolton pedig csupán a 7-8. évben térülne meg. Ehhez járul még, hogy tapasztalataink szerint a műtrágyahatások nőnek az évekkel, mert a trágyázatlan talajon a termés általában gyorsabban csökken, mint az ilyen nagy adagok utóhatása eredményeképpen a trágyázotton.



9. ábra

A feltöltő és a normál adagú PK műtrágyázás összehasonlítása 1975-77

Nem hagyható figyelmen kívül, hogy az iparszerű termelési rendszerekben a gabonatermesztés csak akkor kifizetődő a jelenlegi gazdálkodási körülmények között, ha a termésátlagok a $4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ feletti termésszinteket biztosítják. Az ezt meghaladó terméstöbbletek, amelyeket a feltöltő trágyázás eredményezhet, határozottan javítják az önköltség mutatóit, a gazdálkodás hatékonyságának szintjét, így tehát az $1 \text{ kg P}_2\text{O}_5/3 \text{ kg}$ búzaszem-többlet a trágyázás hatékonyságának elbírálásánál csak az egyik kritérium lehet.

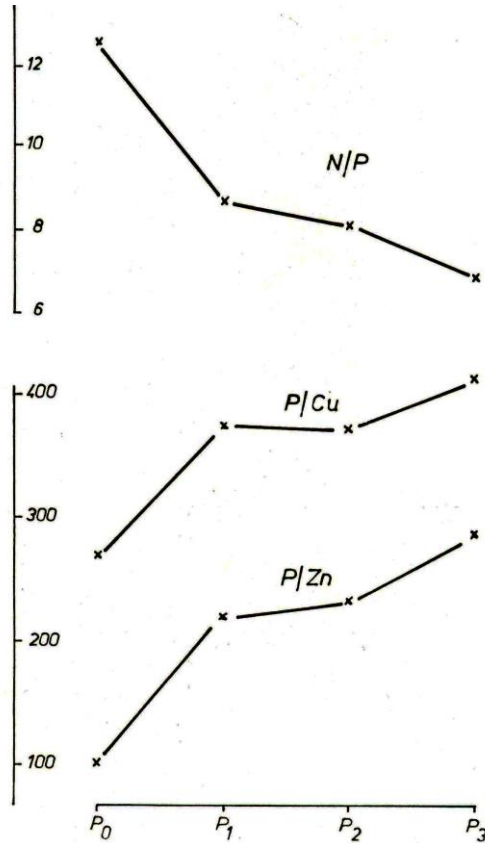
Az intenzív és egyoldalú makroelem-műtrágyázás ugyanakkor megváltoztathatja más elemek, pl. mikroelemek felvételét a növényben. Meszes talajokon, ahol a legtöbb mikroelem felvehetősége egyébként is korlátozott, az egyoldalú P műtrágyázás lecsökkentette a Fe és különösen a Zn felvételét, amely a Zn igényes kukoricánál termésnövekedést eredményezett. Így pl. a 6 leveles kukoricában a 100 körüli P/Zn arány, amelyet az irodalom még kedvezőnek tart, 288-ra emelkedett. Hasonló tendenciát a szemtermésben is megfigyelhetünk. Míg azonban a Zn-tartalom ilyen mértékű csökkenése, illetve a P/Zn arányának eltolódása a 6 leveles kukorica termését bizonyíthatóan még nem csökkentette, addig a szemtermésben $1,0\text{-}1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ terméskiesést okozott, amelyet a K-műtrágyázás pozitív hatása sem volt képes ellensúlyozni (126. táblázat.)

126. táblázat A feltöltő P műtrágyázás hatása a kukorica termésére, P és Zn tartalmára, valamint a P/Zn arányaira (Mészlepedékes csernozjom, Nagyhorcsók, 1976)

Kezelés	P0	P500	P1000	P1500	SzD _{5%}
AL-P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	65,0	123,0	190,0	290,0	22,0
6-leveles állapotban					
P %	0,31	0,47	0,51	0,60	0,04
Zn mg·kg ⁻¹	30,5	21,2	21,8	20,8	2,1
P/Zn arány	101,6	221,7		233,9	288,5
-					
Termés g/20 növény	21,0	28,0	30,0	30,0	2,4
Szemtermés betakarításkor					
P %	0,29	0,42	0,45	0,44	0,08
Zn mg·kg ⁻¹	34,3	23,2	23,0	20,9	2,4
P/Zn arány	84,5	181,0	195,7	210,5	-
Termés t·ha ⁻¹	4,74	5,62	4,87	4,25	0,27

Ahhoz tehát, hogy a feltöltő PK műtrágyázás módszerének alkalmazhatóságát elbírálhassuk egy adott talajon, előzetes talaj- és növényvizsgálatokkal kell meggyőződnünk a talaj P vagy K ellátottságának hiányáról, a hiány mértékéről. Figyelembe kell vennünk a mikroelem-ellátottsági viszonyokat is, amennyiben szükséges a P műtrágyázást Zn trágyázással egybekötve végezzük. Amennyiben a talaj- és

növényvizsgálatok útján kapott információ nem ad egyértelmű választ, szabadföldi trágyázási kísérletre, próbára is szükségünk lehet.



10.ábra

A P műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica tápelemarányaira, 1976
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Összefoglalás, következtetések

Munkám célja volt, hogy a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága közötti összefüggéseket mezőgazdaságunk jelenlegi viszonyai között vizsgáljam. Először az országos tápanyag-mérlegek módszerével elemeztem tápanyag-gazdálkodásunk helyzetét és értékeltem a közelmúltban lezajlott jelentős változásokat, majd szabadföldi kísérletekben igyekeztem nyomon követni az intenzív műtrágyázás talajtermékenységre

gyakorolt hatását. A vizsgálatok eredményeit összefoglalva az alábbi főbb megállapítások tehetők:

Termésátlagaink a századfordulótól az 1950-es évek elejéig nem emelkedtek, lényegében stagnáltak. Tápanyag-gazdálkodásunkra ez alatt a fél évszázad alatt a rablógazdálkodás jellemző, az évenkénti termésekkel felvett főbb tápanyagoknak csak mintegy 1/3-át pótoltuk vissza trágyázással, alapvetően szerves trágyák útján, míg a műtrágya-felhasználás jelentéktelen maradt, 1-2 kg hatóanyag körül állandósult egy hektár mezőgazdaságilag hasznosított területre számítva. Termésátlagaink lassú emelkedése az 1960-as évek elejével figyelhető meg és az 1970-es évek első felében válik a növekedés látványossá. Ebben az időszakban gyökeres átalakulások történnek a tápanyag-gazdálkodásunkban, az évezredes tápanyaghiányt felváltja a tápanyag-mérleg pozitívuma, a talajgazdagító trágyázás.

<u>Összes NPK hatóanyag</u>	<u>1932-36</u>	<u>1960-64</u>	<u>1971</u>	<u>1975</u>
Termésben foglalt, %	100	122	162	201
Visszapótlás, %	33	59	134	162
Hiány/többlet/, kg·ha ⁻¹	-62	-47	+52	+114

Az istállótrágya-termelés lényegesen nem változott a korábbi évtizedekhez képest, a termésátlagok emelkedése a műtrágya-felhasználás növekedésével mutatott összefüggést. Századunk első felében évenként és hektáronként 50-60 kg összes hatóanyaghiány állott fenn a főbb tápelemekben, míg 1975-re 110 kg hatóanyag többletet regisztrálhatunk, a terméssel felvett tápanyagoknak több mint másfélszeresét pótoljuk vissza. A foszfor esetében ez a visszapótlás 2-2,5-szerese a kivont mennyiségeknek, évente ma már mintegy 40-45 kg·ha⁻¹ P₂O₅ hatóanyag mennyiséggel gyarapodik talajaink foszfortartalma.

Tápanyag-gazdálkodásunk helyzetét nemzetközi megvilágításba helyezve, elsősorban néhány nyugat-európai országgal összevetve arra a megállapításra jutottam, hogy a korábban sokat hangoztatott érvekkel és véleményekkel ellentétben mezőgazdaságunk viszonylagos csapadékszegénysége, monokultúrás gabonatermesztő jellege, alacsonyabb szintű szerves trágya-gazdálkodása az ország fajlagos műtrágyaigényét nem csökkentő, hanem növelő tényező. Mezőgazdaságunk egységnyi terméstöbblet előállításához szükséges műtrágya-felhasználása nemcsak elérheti, hanem meg is haladhatja a legfejlettebb nyugat-európai országok szintjét a jövőben. Ilyen irányban hat a történelmi múlt is. Az iparszerű növénytermelési rendszerek által megkívánt követelmények, a magas és biztonságos termésszintek elérése egy bizonyos tápanyagtelítettséget tételez fel a talajban, ez a relatív tápanyagbőség megfelelő műtrágyázással érhető el. Németországban pl. a talajok foszformérlege 60 évvel korábban, már a századfordulón egyensúlyba került. Nekünk történelmileg rövidebb idő alatt kell megtennünk azt az utat, amely a tápanyagokkal jól ellátott és termékeny talajokhoz vezet. Nem kétséges, hogy ez a momentum műtrágyaigényünket tovább növeli.

Az energiahordozók drágulása ugyanakkor a műtrágyákat is egyre inkább nyomatékos költségtenezővé teszi mezőgazdaságunkban. Ahhoz, hogy mezőgazdaságunk nemzeti jellegeből, természeti-gazdasági adottságainkból adódó magas műtrágyaigényünket csökkenthessük, néhány lehetőség önként kínálkozik:

- az istállótrágya összegyűjtésére, helyes tárolására és felhasználására az eddigénél nagyobb gondot kell fordítani;
- az extenzív rét-legelő gazdálkodásunkat belterjesebb irányba kell fejlesztenünk;
- műtrágya-felhasználásunk szakszerűségét tovább kell javítanunk.

A tápanyag-gazdálkodásunkban bekövetkezett mennyiségi és minőségi változások új szemléletet, új megközelítést és új típusú kísérletek beállítását teszik szükségessé a tápanyagkutatásban. Trágyázási tartamkísérleteink egy részének átalakításával lehetővé válik a különböző multú, illetve tápanyag-állapotú talajokon a műtrágyázás hatékonyságának szabatos vizsgálata, a talaj tápanyag-ellátottságának függvényében. Az ilyen típusú kísérlet módot ad a talajvizsgálatokra alapozott modern műtrágyázási szaktanácsadás továbbfejlesztésére, valamint arra is, hogy megbecsüljük a talajban visszamaradó műtrágya-tápanyag megkötődésének (előregedésének, értékcsökkenésének) mértékét a frissen adott műtrágyákéhoz viszonyítva. Az említett kísérlet típus példájául, informatív jellegének bemutatására szolgált a mészlepedékes csernozjomon beállított 12 éves átépített tartamkísérletünk.

A kísérlet III. ciklusában, őszi búza monokultúrában az évente adott friss műtrágya-foszfor átlagos marginális hatékonysága - 60 kg P₂O₅ hektáronkénti adagnál 1 kg P₂O₅-re jutó szemterméstöbblet - annál kisebb volt, minél nagyobbak mutatkoztak a talaj P-ellátottsága. A 8 éven át P-ral nem trágyázott talajon ez az érték 15 kg körül alakult az évek átlagában, míg a rendszeresen P30 adaggal trágyázotton 11 kg, illetve a P60 adaggal trágyázotton csak 5 kg volt.

A talaj P-ellátottságának szintje a talajtermékenység fontos eleme. A korábban 8 éven át P-ral nem trágyázott talajon még a termés által kivont P mennyiségét 2-3-szorosan meghaladó évi 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagokkal sem tudtuk a termésmaximumokat elérni az első 3 év folyamán. Ilyen értelemben tehát beszélhetünk a talaj trágyázásáról, trágyázási rendszereinket úgy kell alakítanunk, hogy a kívánatos ellátottsági szinteket létrehozassuk a talajban. Nemcsak a talaj termékenységének egyszerű fenntartásáról, hanem növeléséről, bővített ujratermeléséről is gondoskodnunk kell.

Kísérletünkben jelentős utóhatásokat regisztráltunk, a III. ciklusban kapott terméstöbbletek elérték utóhatásban a II. ciklusban kapott hatások mértékét. Természetesen e jelentős utóhatások nem jelentik azt, hogy a talajban visszamaradó P teljesen egyenértékű lenne a frissen adott műtrágya-P termélnövelő hatásával. A III. ciklusban kapott utóhatásokat és a friss trágyázással kapott hatásokat összevetve megállapítottuk, hogy mind a termésgörbék, mind az összes terméssel felvett P alapján a "rég" P hatékonysága mintegy 50-70 %-os volt a frissen adott P-éhoz viszonyítva. A 8 éven át adott évi 30, illetve 60 kg P₂O₅ ha⁻¹ adagok hasznosulása a III. ciklusban megfigyelt utóhatásokat is figyelembe véve elérte a 30-40 %-ot a klasszikus különbség-módszerrel számítva.

A P trágyázás hatása a talaj könnyen oldható P-tartalmában megbízhatóan visszatükröződött. Az AL-P és az Olsen-P tartalmak között a kísérletben szoros, $r = 0,8$ körüli összefüggést mutattunk ki. Bár az Olsen-P abszolút értékei kisebbek az AL-P értékeknél, a százalékos változások nagyobbak, tehát e módszer érzékenyebben reagált a talaj P állapotában bekövetkezett változásokra. A kis P-tartalmú parcellákon viszonylag nagy P hatásokat mértünk, míg a 120-140 mg·kg⁻¹ AL- P₂O₅, illetve a 30-40 mg·kg⁻¹ Olsen-P₂O₅ értékek felett a hatások lecsökkentek és elértük a maximális termésszinteket. E termésszintek a sokéves monokultúrában érhetően nem magasak. Nagyobb

termésszinteket a tendenciák és összefüggések ismeretében is, nagyobb P ellátottságra kell alapoznunk.

A különböző korú műtrágya-P talajbani átalakulását és az előregedés folyamatát talajkémiai módszerrel is jellemeztük. A Chang-Jackson-féle I. frakció 2-3-szorosára nőtt a friss P-adagok hatására és a II. frakció növekedése is bizonyítható volt. Ezzel szemben a leginkább mobilisnak tekintett I. és II. frakció mennyiségét a régi P adagjai kevésbé módosították. A szervesetlen foszfátfrakciók és a könnyen oldható foszfortartalom összefüggéseit vizsgálva megállapítottuk, hogy az AL- és az Olsen-módszer értékei az első két frakcióval mutatnak szoros összefüggést. A lineáris kapcsolatok szorosságára utaló "r" értékek 0,63-0,96 között váltakoztak és minden esetben statisztikailag igazolhatók voltak.

A talajvizsgálati adatokhoz hasonlóan a termésjellemzők is, mint pl. az évenkénti szem, szalma, pelyva termése és azok NPK tartalma; a fő- és melléktermékek arányának alakulása; a terméssel felvett tápanyagok mennyiségei, a kumulatív terméselemzés adatai; valamint a fenológiai megfigyelések és a tenyésztő folyamán végzett bonítalások eredményei jól tükrözték a különböző korú P trágya hatását. Az őszi búza 1 t szemtermésének előállításához szükséges NPK tápanyagigény számításait elvégezve megállapítható volt, hogy:

- a fajlagos N tartalmat a fajta erősen befolyásolta. Így pl. a szűk szem/szalma arányú Bezosztaja 1 fajta N-tartalma 20-30 kg N között változott a P trágyázástól függően, míg pl. a tágabb szem/szalma arányú Jubilejnaja fajtáé 30-50 kg N között. Azonos szemtermések eléréséhez tehát az utóbbi fajta magasabb N igényt követel.

- a fajlagos, azaz a 1 t szem és a hozzá tartozó melléktermékben foglalt P mennyisége 6-11 kg P₂O₅, a fajlagos K tartalom 11-22 kg K₂O között változott elsősorban a fajták szem/szalma aránya függvényében. Leginkább tápanyagigényesnek itt is a Jubilejnaja fajta mutatkozott.

Ugyanebben a kísérletben megkezdttük a melioratív jellegű feltöltő P műtrágyázás vizsgálatát is. Eredményeink szerint e módszer hatékonysága a talaj P-ellátottságától függött, így pl. még a közel 1 t·ha⁻¹ P₂O₅ adag is gazdaságosnak mutatkozott és 2-3 év alatt megtérült a P-ral igen rosszul ellátott és 10 év óta nem trágyázott parcellákon. E talajban a kielégítő P ellátottság létrehozása történhetett egyszeri bevittelé feltöltő trágyázással, vagy olyan mérvű trágyázással, amikor az évek során rendszeresen több foszfort juttattunk vissza a talajba, mint amit a terméssel elvontunk, tehát lassú feltöltéssel állandó pozitív P-mérleg mellett.

Kísérleti körülmények között, több év átlagában, 100 kg körüli P₂O₅ superfoszfat műtrágya hatóanyag 10 mg·kg⁻¹ AL, illetve 5 mg·kg⁻¹ Olsen-P₂O₅ növekedést eredményezett a talaj 0-20 cm mintavételi mélységében. A talajvizsgálatok alapján kiszámítható a kielégítő P ellátottsági szint eléréséhez (feltöltéshez) szükséges műtrágya mennyisége. A mezőföldi mészlepedékes csernozjom P ellátottságának becslésére, az őszi búza monokultúrában kapott nem túl magas termés szinteken a következő ellátottsági határértékek javasolhatók:

P-ellátottság	Gyenge	Közepes	Kielégítő
AL- P ₂ O ₅	70 alatt	70-150	150 felett
Olsen- P ₂ O ₅ mg·kg ⁻¹	20 alatt	20-40	40 felett
Szemtermés t·ha ⁻¹	250 alatt	2,5-4,0	4,0 felett

Az intenzív NPK műtrágyázás talajtermékenységre gyakorolt hatásának sokoldalúbb vizsgálatára 1973-ban egy olyan polifaktoriális kísérletet állítottunk be, mely a gyakorlatban jelenleg és a jövőben előforduló eltérő N, P és K ellátottságú talajokat és azok kombinációit magában foglalja. A kísérlet kereteiben megvalósult csoportmunka eredményeképpen adatokat nyertünk az eltérő szintű N, P, K műtrágyázásnak és azok kölcsönhatásainak az őszi búza és kukorica termésére, tápanyagforgalmára (makro- és mikroelem-felvételére), növényi betegségellenállóságára, minőségére, a talaj könnyen oldható tápanyagtartalmára, némely fizikai és biológiai tulajdonságaira vonatkozóan.

Kísérleti adataink szerint az intenzív műtrágyázás olyan mérvű beavatkozást jelent a talajba, amely megváltoztatja az egyes tápelemek egyensúlyát, ionantagonizmust és szinergizmust indukálva veszélyeztetheti a talaj termékenységét, illetve a fő tápelemek hatékonyságát. Tekintettel arra, hogy

- hazánk mezőgazdaságilag művelt területének jelentős részén többé vagy kevésbé meszes talajokat találunk;
- a kukorica az egyik legnagyobb vetésterülettel rendelkező növényünk;
- a foszformérlegünk országosan is erősen pozitív, talajaink P-ellátottsága örvendetesen emelkedik.

Különös gondot kell fordítanunk e növény Zn ellátottságára a jövőben. Meszes talajokon, ahol a könnyen felvehető Zn mennyisége egyébként is korlátozott, a P-ellátottság emelkedésével a növények Zn tartalma jelentősen lecsökkenhet és a P/Zn aránya többszörösére változhat kedvezőtlen irányban. Kísérleteinkben a kukorica 1,0-1,5 t/ha-1 szemterméscsökkenéssel reagált a P indukálta Zn hiányra, melyet a növényelemzés előre jelzett.

Gyengén pufferolt talajok ugyanakkor az intenzív műtrágyázás következtében elsavanyodhatnak és az egyes mikroelemek felvehetősége olyan mértékben megnőhet, hogy a nagyzemmi viszonyok között végzett vizsgálatunk szerint a növények pusztulását is előidézhetik, amennyiben rendszeres műtrágyázást vagy meszeztést nem folytatunk.

Mezőgazdaságunk monokultúrás gabonatermesztő jellege a növényi betegségek előfordulását növelő tényező, ezért fontos az intenzív műtrágyázásnak a növényi betegségellenállóságra való hatását is számba venni. Kísérletünkben számszerű összefüggéseket találtunk az őszi búza lisztharmat, a kukorica golyvás üszög, valamint a fusariumos szártörés mértéke között. A N túltrágyázás nem a termést, hanem a lisztharmattal és a golyvás üszöggel való fertőzöttséget növelte közel duplájára. A talaj P ellátottságának emelésével csökkent e betegségek gyakorisága, de a P csak részben tudta ellensúlyozni a N ilyen irányú kedvezőtlen hatását. A kukorica szártörésében ugyanakkor egyértelműen a P trágyázásnak volt szerepe. A betegségek gyakorisága tehát táplálkozástani okokkal is összefügg (szártörés a P által indukált Zn hiányával feltehetően.)

A betegségellenállóság növelésében a K trágyázás járt a legkedvezőbb eredménnyel, a lisztharmat fertőzöttségét mintegy 20-25, a szártörés mértékét pedig 50-70 %-kal csökkentette (K nélkül a szártörés 100 %-os volt a magasabb P szinteken). Felvetődhet egy új szempont a K igényének megállapításánál, különösen monokultúrákban, a K trágyázás ilyen irányú hatását is figyelembe venni.

A tartós nagyadagú műtrágyázás következtében jelentősen, akár egy nagyságrenddel is átmenetileg megnőhet a talaj elektrolittartalma. Ez a növekedés vizsgálataink szerint elsősorban nem a tápelemekre, hanem a műtrágyák kísérő ionjaira vezethető vissza. A műtrágya fajtájától, illetve a tápion és a kísérő ion természetétől függően ezek az ionok részben a talaj felső rétegében koncentrálnak (K^+ , SO_4^{2-} , PO_4^{2-}), vagy már az első évi csapadékkal a mélyebb szintekbe vándorolhatnak (Cl^- , Na^+). A N műtrágyázás csak akkor vezetett a kicserélhető NH_3+NO_3 feldúsulására a talaj alsóbb rétegeiben mészlepedékes csernozjomon, ha a növény által felvett N mennyiségét jelentősen meghaladó, 200-300 $kg\cdot ha^{-1}$ adaggal trágyáztak. A környezetvédelmi szempontból is fontos kimosódás tehát elsősorban a tápanyag-mérleg feletti N adagok esetében lehet győzelemre méltó.

A talajtermékenység egyik jellemzője a talajban lejátszódó biológiai folyamatok intenzitása. A cellulózbontó aktivitás, valamint a növény termése közötti összefüggéseket vizsgálva megállapítottuk, hogy a talaj cellulózbontó mikrobiális élőlényei közel azonos tápelem-ellátottságot igényelnek intenzívebb működésükhöz, mint a magasabb rendű kultúrnövények, illetve az egyoldalú túltrágyázás depresszív hatásaitól sem mentesek. Hasonló talajbiológiai vizsgálatok az intenzív kemizálás viszonyai között a talajtermékenység indexéül szolgálhatnak.

A feltöltő együttes PK műtrágyázás hatékonyságának megítélése céljából több szabadföldi kísérletet is beállítottunk az ország különböző vidékein. A vizsgált talajok kötöttsége, reakcióállapota, humusz- és PK ellátottsága eltérő volt. Az egyes kísérleti helyeken 0, 500, 1000 és esetenként 1500 $kg\cdot ha^{-1}$ P_2O_5 , illetve K_2O adagokat alkalmaztunk. Későbbi években a feltöltő PK adagok utóhatásait figyeltük meg. Kísérleteink első néhány éves adataiból levonható következtetések az alábbiakban foglalhatók össze:

- A műtrágyázást követő első években a talajba vitt műtrágya-P mennyiségének átlagosan mintegy fele, a műtrágya-K mennyiségének pedig mintegy 1/4-e volt kimutatható AL-oldható formában. A kísérleti évek és helyek átlagában 70 kg körüli P, illetve 130 kg körüli K hatóanyag eredményezett 10 $mg\cdot kg^{-1}$ AL-P, illetve AL-K növekedést mind a meszes, mind a savanyú talajon. A talajok AL-módszerrel nyomon követett P és K feltöltődésének mértékét elsősorban a műtrágyázás ideje és a talaj kötöttsége befolyásolta.
- A kísérleti helyek P ellátottságának növényelemzés útján megállapított sorrendje (bokrosodás végén mért P % tartalmak) lényegében követte a korábban Olsen-módszerrel meghatározott P ellátottságot, míg az AL módszer adataival az összefüggés gyenge volt.
- Kísérleti viszonyaink között a kalászosoknál nyert terméstöbbleteket a talajok P-ellátottsága határozta meg alapvetően. Míg a jól-közepesen ellátott kísérleti helyen alig igazolható 0,4-0,5 $t\cdot ha^{-1}$ terméstöbbleteket regisztráltunk, addig a gyengén ellátott talajon 1,3-1,8 $t\cdot ha^{-1}$ -t. A P-ral legrosszabbul ellátott szilvásváradi talajon a csak nitrogénnel trágyázott kontroll parcellák termése P hatására megháromszorozódott. Ebben a kísérletben a feltöltő trágyázás 0,8-1,5 $t\cdot ha^{-1}$ szemtermés-többletet eredményezett a normál adagú $P_{50}K_{100}$, illetve $P_{100}K_{200}$ hatóanyagokkal szemben is.
- A hasonló jellegű melioratív PK feltöltő műtrágyázás eredményessége tehát a talaj tápanyag-ellátottságától függ. Egy igen rosszul ellátott talajon az említett mérvű tápanyagfeltöltés is indokolt lehet és néhány év alatt megtérülhet, míg a jobban ellátott

talajokon a terméssel kivont tápanyagok többé vagy kevésbé egyszerű visszapótlására szorítkozhatunk. A módszer megválasztása üzemgazdasági mérlegelés tárgyát képezi.

- A feltöltő vagy nagyadagú intenzív műtrágyázás ugyanakkor veszélyeztetheti is a talaj termékenységét. Meszes talajokon, ahol a könnyen felvehető mikroelemek nagy része egyébként is korlátozott, mikroelemhiányokat indukálhat, míg a savanyodásra hajlamos viszonyok között mikroelem mérgezést idézhet elő. Ahhoz, hogy a feltöltő PK műtrágyázás módszerének alkalmazhatóságát elbírálhassuk egy adott talajon, előzőleg talaj- és növényvizsgálatokkal kell meggyőződnünk a talaj P vagy K ellátottságának hiányáról, a hiány mértékéről. Figyelembe kell venni a mikroelem-ellátottsági viszonyokat is, amennyiben szükséges a P műtrágyázást Zn trágyázással egybekötve végezzük. Ha a talaj- és növényvizsgálatok útján kapott információ nem ad egyértelmű választ, szabadföldi trágyázási kísérletre, próbára is szükség lehet.

Eddigi tapasztalataink szerint a növényanalízis, vagy levélanalízis módszere alkalmas lehet a növény tápláltsági állapotának megítélésére, összefüggésben a talajvizsgálati adatokkal a talaj tápelem-ellátottságának megállapítására, a trágyaigény becslésére. Összefoglalva saját vizsgálati eredményeinket, mintegy 10-15 kísérlet adatait, az ország különböző helyein beállított trágyázási tartamkísérleteink bázisán, valamint az irodalmi forrásmunkákra támaszkodva ellátottsági határértékeket is javasoltunk őszi búzára. Hasonló részeredményeket a kukoricára is közöltünk. A növénymintavétel idejére és módjára, valamint a növényi növekedés és az ásványi tápelemtartalom közötti összefüggésekre is vizsgálatokat végeztünk, amennyiben az irodalom nem adott egyértelmű választ, illetve hazai viszonyaink azt szükségessé tették. A talaj- és növényvizsgálat, mint kémiai és fiziológiai módszerek együttesen és egymást kiegészítve adhatják a maximális biztonságot a műtrágyázási szaktanácsadásban, tágabban a talajtermékenység kontrolljában, egységes szaktanácsadási rendszer részei kell hogy legyenek.

Irodalom

- ANTIPINA, L.P.: Effektivnoszt' foszforňuh udobrenij v szvjazi sz zoderzsaniem foszfatov v csernozjomah leszosztepoj zonü Krasnojarszkogo Kraja. Agrohimiya. 3:37-43. 1969.
- ANTIPINA, L.P.: Prevrascenie foszforňuh udobrenij v csernozjomah i szerüh lesznüh pocsvah tjumenszkaj oblasztyi. Agrohimiya. 7:36-44. 1971.
- AUFHAMMER, G. - GÜNNEL, G. - KNOBLOCH, W.: Die Wirkung verschieden hohen jährlich und 5 jährig verabreichter Phosphorsäuregaben auf Pflanzenbestand, Ertrag und Futterqualität von Niedermoorwiesen. Phosphorsäure. 26:12-29. 1966.
- BAIER, J.: Primenenie neorganicseszkij analizov ozimov psenicü dlja podkormki. In: Szisztéma udobrenij i pitanie rasztenij. NIIR IPR. Praha. 1974.
- BALLA Ané: Az istállótrágya tápanyagai érvényesülésének vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 7. 23:3-242. 1958.
- BALLA Ané: Az istállótrágyázás és a műtrágyázás hatásának összehasonlítása vetésforgó-trágyázási kísérletekben. I, II, III, IV. Agrokémia és Talajtan. 10:441-450. 1961.; U.o. 11:89-96. 1962.; U.o. 12:21-30. 1963.; U.o. 12:517-528. 1963.
- BALLA Ané: Az istállótrágya és a műtrágyák hatásának vizsgálata különböző termőhelyeken tartamkísérletekben. In: Trágyázási Kísérletek 1955-1964. 96-130. 1967.

- BALLA Ané: A tenyésztésterület, a növényápolás és a trágyázás hatása a kukorica termésére. *Agrokémia és Talajtan*. 17:101-108. 1968.
- BALOGH S.: Még egyszer a kenyérgabona-termesztés 1970. évi problémáiról. *Növényvédelem*. 7:262-266. 1971.
- BARCLAY, G.M. - MURPHY, H.J. - MAZZER, F.E. - HUTCHINSON, F.E.: Effect of differential rates of nitrogen and phosphorus on early blight in potatoes. *Amer. Potato J.* 50:42-47. 1975.
- BAUER F.: Kukoricával végzett műtrágyaadag és -arány kísérletek Duna-Tisza közeli lepelhomok talajon. *Kísérlet. Közl.* 57A. 3:3-25. 1964.
- BAUMGARDNER, M.F.: Bodenuntersuchungen in den USA. *Die Phosphorsäure*. 19:361-374. 1959.
- BÁNÓ T. – KRÁMER M.: Az 1956-62. évi búzaműtrágyázási kísérletek néhány tanulsága. *Magyar Mezőgazdaság*. 18. 39. sz. 7-8. 1963.
- BEER K.: Tudományosan megalapozott műtrágya felhasználás a kiváló minőségű termékek elérésének fontos eszköze. *KGST III. Nemzetk. Tud. Konf.* 30-39. Keszthely. 1975.
- BERGMANN, W. - WITTER, B.: Die Wirkung der Phosphorsäure in statischen P-Steigerungsversuchen und der Verbleib der Restphosphorsäure im Boden. *A. Thaer-Arch.* 9:901-922. 1965.
- BERGMANN, W. - NEUBERT, P.: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fischer Verlag, Jena. 1976.
- BÉRCZI Gy.: A mezőgazdaság kemizálásának gazdasági kérdései. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest. 1972.
- BÉRCZI Gy.: A gazdaságos műtrágyázás feltételei Magyarországon. *Kandidátusi disszertáció*. Budapest. 1968.
- BOLDÜREV, N.K.: Analiz liszt'ev kak metod opredelenija potrebnoszi rasztenij v udobrenijah. *Ucsebnoe szposzobie*. Min. sz/h SzSzSzR. Omszk. 1970.
- BROWN, A.L. - KRANTZ, B.A. - EDDINGS, J.L.: Zinc-phosphorus interactions as measured by plant response and soil analysis. *Soil Sci. Baltimore*. 110:415-52. 1970.
- CHANG, S.C.: Assimilation of phosphorus by a mixed soil population and by pure cultures of soil fungi. *Soil Sci.* 49:197-210. 1940.
- COOKE G. W.: Trágyázás és jövedelmező gazdálkodás. *Mezőgazdasági Kiadó*. Budapest. 1965.
- COOKE, G.W.: The Nation's Plant Food Larder. *J. Sci. Food Agric.* 9:761-772. 1958.
- CSERHÁTI S. - KOSUTÁNY T.: A trágyázás alapelvei. *Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó*. Budapest. 1887.
- CSUMACSENKO, I.N.: Vlijanie foszfátного urovnja na fiziologicszerkie pokozateli i uroszaj szel'szkohozajsztvennüh kultur v uszlovijah orosenija. *Himija sz/h*. 9:7-13. 1969.
- CSUMACSENKO, I.N. - PONOMAREV, V.G. - SZOLODENKO, V.G.: Pitanie hlopcsatnika pri razlicnom urovnje foszfátov v sztaroorasaemüh szerozjomah. *Agrohimija*. 3:29-36. 1969.
- CSURKIN, K. G.: Balansz azota, foszfora i kalija v zemledelii Uralszkoi zonü. *Agrohimija*. 11:64-69. 1969.
- DEBRECZENI B.: Előszó. *KGST III. Nemzetk. Tud. Konf.* 13-15. Keszthely. 1975.
- DEBRECZENI B. - MOLNÁR I.: Műtrágyázás és az öntözés hatása az őszi búza fehérjetartalmára és a kukorica kémiai összetételére, valamint biológiai értékére. *KGST III. Nemzetk. Tud. Konf.* 127-137. Keszthely. 1975.
- DIMITRENKO, P.A. - LITVIN, V.G. - GLOVASCSEK, ZS.T. - VOKAL, L.Sz.: Poszledejsztvie udobrenij v szevooborote pri dobovocsnom vneszenii azota. *Agrohimija*. 1:14-19. 1971.

- DORNER B.: A kereskedelmi trágyák történelme, gyártása és használata. Athenaeum Nyomda. Budapest. 1925.
- DOROGI I.: A szerves- és a műtrágyák együttes alkalmazása különböző talajtípusokon. Mosonmagy. Agrártud. Főisk. Közl. 6:25-30. 1963.
- DOSZPEHOV, B.A.: Naucsnuie osznovü intenzivnogo zemledelija v necsernozjomnoj zone. Izd. „Kolosz”. Moszkva. 1976.
- DWORÁK L.: Új alapelv a talaj trágyaszükségletének meghatározására. A relatív meghatározások jelentősége. Mezőgazd. Kut. 3:355-359. 1930.
- DWORÁK L.: A talajból felvett táplálóanyagok mennyisége a fontosabb gazdasági növényekben. Köztelek Zsebnaptár. OMGE. Budapest. 1942.
- EIFERT, J. - FÜRI, J. - SZÓKE, L. - VÁRNAI, M.: Praktische Ergebnisse und wissenschaftliche Probleme bei der modernen Nährstoffversorgung von Rabeanlagen. Landw. Forsch. 29:101-108. 1976.
- ELEK É. - KÁDÁR I.: A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikroelemek felvételére. Mezőgazd. Kemizálása. 89-93. Keszthely. 1975.
- ELEK É. - KÁDÁR I.: Talajtermékenység kontrollja növény- és talajvizsgálatokkal. Magyar Mezőgazd. 30. 51. sz. 9. 1975/a.
- ELEK É. - BÁRTFAY T-né. - KÁDÁR I.: Correlation Between Fertilizer Application and Winter Wheat Crop Quality. VIIIth Int. Fert. Cong. Sec. 5. Vol. 11. 136-145. Moszkva. 1976.
- ENYEDI Gy.: A Föld mezőgazdasága. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1965.
- FARKAS Á.: Magyarország talajerő-mérlege. Magyar Gazd. Int. Budapest. 1942.
- FAUSTZAHLENBUCH. Österr. Düngerberatungsstelle. Wien. 1974.
- FEKETE Z.: Az angol és a magyar mezőgazdaság összehasonlítása műtrágyázási szempontból. Előszó a magyar kiadáshoz. In: Cooke, G.W.: Trágyázás és jövedelmező gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1965.
- FINGER, O.: Mährjährlige und einjährlige Düngungsversuche mit gesteigertem Gaben und Phosphorsäure und Kali zur Nachprüfung der Grenzwerte bei der chemischen Bodenuntersuchung. I. Mitteilung. Landw. Forsch. 19:86-94. 1966a
- FINGER, O.: Düngungsversuche in Rheinland-Pfalz zur Nachprüfung der Grenzwerte der chemischen Bodenuntersuchung. Phosphorsäure. 26:81-86. 1966.
- FÜLEKY Gy.: Néhány hazai talajtípus összes foszfortartalmának összehasonlító vizsgálata. Agrokémia és Talajtan. 22:311-318. 1973.
- FÜLEKY Gy.: A talaj könnyen oldható foszfortartalmának és szerves foszfor-formáinak összefüggése. Egyetemi doktori dissz. MTA TAKI. Budapest. 1974.
- FÜLEKY Gy.: A talaj P-állapotának változása tartamkísérletekben. II. Agrokémia és Talajtan. 24:291-302. 1975.
- FÜLEKY, Gy.: A talaj foszforállapotát és könnyen oldható foszfortartalmát befolyásoló fontosabb tényezők. Kandidátusi disszertáció. MTA TAKI. Budapest. 1977.
- FÜLEKY Gy. - KÁDÁR I.: A talaj P-állapotának változása tartamkísérletben. I. Agrokémia és Talajtan. 24:29-45. 1975.
- GAMAL-EL-DIN, H. - KÁDÁR, I. - GULYÁS, F.: Data on the Effect of Increasing Mineral Fertilizers Doses and Combination on Cellulotic Activity of Soil. Soil Biology and Conservation of the Biosphere. 229-232. Szerk.: J. Szegi. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1976.
- GARMEN, W.H. - WHITE, W.C.: Maintaining and Improving Soil Productivity. Agric. Chem. 19:17-18. 1964.

- GÁSPÁR L.: Hozzászólás Kádár Imre „Adatok az intenzív műtrágyázás talaj termékenységére gyakorolt hatásához” c. előadásához. Szóbeli Közlés. MAE Talajtani Társasága Trágyázási Szakosztályán 1978. január 17-én megtartott előadói ülésen. Budapest.
- GERICKE, S.: Phosphatdüngung im Kartoffelbau. Phosphorsäure. 13:355-371. 1953.
- GERICKE, S.: Die Leistung der Handelsdünger im Kartoffelbau. Phosphorsäure. 21:87-101, 1961.
- GERICKE, S.: Phosphatdüngung im Maisbau. Phosphorsäure. 23:231-250. 1963.
- GERICKE, S.: Wirkung langjähriger Phosphatdüngung auf Boden und Pflanzen. Phosphorsäure. 25: 186-210. 1965.
- GERICKE, S.: 40 Jahre landwirtschaftliche Versuchsanstalt der Thomasphosphat-fabriken 1927-67. Phosphorsäure. 27:101-109. 1967.
- GERICKE, S.: Ergebnisse von Phosphat-Düngungsversuchen. Phosphorsäure. 27:47-78. 1967a.
- GERICKE, S.: Nährstoffbilanzen. Landw. Forsch. 20:213-220. 1967.
- GERICKE, S. - BÄRMANN, C.: Die Wirkung der Phosphatdüngung zu Kartoffeln. Phosphorsäure. 23:159-176. 1963.
- GERICKE, S. - BÄRMANN, C.: Die Wirkung steigender Phosphatgaben bei langjähriger Anwendung auf Ertrag und Nährstoffgehalt der Pflanzen. Phosphorsäure. 22:255-285. 1963.
- GETMANEC, A. JA. - AVRAMENKO, P.SZ. - SZONKO, M.P. - ABRAMOV, V.F.: Balanz pitatelnuh vescu szetv v zemledelii Dnepropetrovszkoj oblaszti is puti ego ulucssenija. Agrohimija. 2:55-62. 1976.
- GISIGER, L.: Landwirtschaft und Düngewirtschaft in der Schweiz. V. Weltkongr. f. Düngungsfr. 1-19. Zürich. 1964.
- GÓR NAGY S.: A magyar vegyipar feladatai a mezőgazdaság kemizálásában. Mezőgazd. Kemizálása. 15-21. Keszthely. 1972.
- MCGREGOR, J.M. - SAJJAPONGSE, A. - GUNDERSSON, O.M.: Availability of fertilizer zinc to corn in a calcareous mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison. 38:611-616. 1974.
- GRIMME, H. - BRAUNSCHWEIG, L.C. - NÉMETH, K.: Beziehungen zwischen Kalium, Calcium und Magnesium bei Aufnahme und Ertragsbildung. Landw. Forsch. Sonderh. 30:93-100. 1974.
- GYÓRI D. – PALKOVICS M-né.: Studies on the relationship between the zinc content in the kernel and the maturity group of maize hybrids. Acta Agron. Akad. Sci. Hungaricae. 23:83-86. 1974.
- GYÓRI D. - MÁTZ L-né.: Cink és triptofán tartalom változása a kukoricában műtrágyák hatására. KGST III. Nemzetk. Tud. Konf. 138-147. Keszthely. 1975.
- GYÖRFFY B.: Talajtermékenység és kemizálás. Tudomány és Mezőgazd. III. évf. 3. sz. 11-20. 1965.
- GYÖRFFY B.: Vetésforgó - Vetésváltás - Monokultúra. Agrártud. Közlem. 34:61-81. 1975.
- GYÖRFFY B.: A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. Agrártud. Közlem. 35:239-266. 1976.
- ICSINHORLOO, SZ. - CSULTEMSZUREN, L.: Szosztovanie i perszpektivü primenenija udobrenij v Mongolszkoj Narodnoj Reszpublike. Tag.-Ber. Akad. Landw.-Wiss. DDR. 59-67. 1974.
- JAHRESBERICHT 1973. Österr. Düngerberatungsstelle. Wien. 1974.
- KALMÜKOV, G. SZ.: Izmenenija v szoderzsanii foszfornoj kiszlotü v pocsvah Prinevszkoj Nizmennoszti. In: Effektivnoszt' udobrenij na vnov oszvaivaemüh zemljah. 66-72. Izd. Lening. Universz. Leningrád. 1963.

- KAMPRATH, E.J.: Residual Effect of Large Applications of Phosphorus on High Phosphorus Fixing Soils. *Agron. J.* 59:25-57. 1967.
- KASZICKIJ, Ju. I.: Vneszenie foszforňuh i kalinňuh udobrenij v zapasz na rjad let. MSZH SzSzSzR. Moszkva. 1972.
- KATAEV, B.N.: O dejsztvii foszforňuh udobrenij na urozsaj hlopcsatnika na pocsvah andizsanszkoj oblaszti v zaviszimoszti ot szoderzsaniya v nih podvizsnogo foszfora. *Agrohimiya.* 10:154-155. 1970.
- KÁDÁR I.: A foszforműtrágyázás hatékonysága különböző foszforellátottságú talajon. *Mezőgazd. Kemizálása.* 141-147. Keszthely. 1974.
- KÁDÁR I.: Izucsenie szvjazi mezdu plodorodiem pocsvü i ee obeszpecsennozsztu foszforom. KGST érték. Moszkva. 1974a. Okt. 21-26. Kézirat (KGST soksz.) MTA TAKI. 18 p.
- KÁDÁR I.: Vlijanie obeszpecsennozszti pocsvü P-om na rezultatü rasztitelnogo analiza ozimoj psenacü na protjazsenii vegetacii. KGST érték. Jéna. 1974b. május 21-31. Kézirat. (KGST soksz.) MTA TAKI. 13 p.
- KÁDÁR I.: A melioratív foszforműtrágyázás lehetőségei. *Mezőgazd. Kemizálása.* 85-88. Keszthely. 1975.
- KÁDÁR I.: A foszfor-műtrágya igényének becslése növény- és talajvizsgálatokkal. *Mezőgazd. Kemizálása.* 205-212, Keszthely. 1976.
- KÁDÁR, I.: Obeszpecsennozszt' pocsvü foszforom i effektivnozszt' vneszeniya foszforňuh mineralňuh udobrenij na miceljarnom csernozjome. In: Szovers. prepodovanija agrohonii v sz. h. vuzah SzSzSzR i szvjaz ee sz proizvodsztvom. 96-101. Kiev. 1976a.
- KÁDÁR I.: Műtrágyázási szaktanácsadás Ausztriában. *Agrokémia és Talajtan.* 26:171-182. 1977.
- KÁDÁR I.: Ausztria talajainak NPK forgalma. *Agrokémia és Talajtan.* 26:481-490. 1977a.
- KÁDÁR I.: Műtrágyázási tapasztalatok Ausztriában. *Agrokémia és Talajtan.* 26:491-497. 1977b.
- KÁDÁR I.: W. Bergmann - P. Neubert: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. *Agrokémia és Talajtan.* 26:498-500. 1977c. Könyvismertetés.
- KÁDÁR I. - SARKADI J.: Vlijanie dlitelnogo primeneniya foszforňuh mineralňuh udobrenij na foszfatnűj rezsím pocsvü. KGST érték. Pulawy. 1973. dec. 4-7. Kézirat. (KGST soksz.) MTA TAKI. 7 p.
- KÁDÁR I. - ELEK É.: Izucsenie szvjazej mezdu dannümi analiza rasztenij, pocsvü i urozsajami. KGST érték. Wroclaw. 1975. okt. 6-11. Kézirat. (KGST soksz.) MTA TAKI. 9 p.
- KÁDÁR I. - ELEK É.: Műtrágyázás hatása a kukorica makro- és mikroelem felvételére. *Mezőgazd. Kemizálása.* 71-81. Keszthely. 1977.
- KÁDÁR I. - KRÁMER M.: Az őszi búza tápanyag-ellátottságának megállapítása növényvizsgálatokkal. *Mezőgazd. Kemizálása.* 53-61. Keszthely. 1977.
- KÁDÁR I. - ZILAHY P.: A műtrágyázás és a növényi betegségellenállóság néhány problémája. *Mezőgazd. Kemizálása.* 227-234. Keszthely. 1977.
- KÁDÁR I. - LÁSZTITY B.: A feltöltő foszfor és kálium műtrágyázás lehetőségének vizsgálata néhány hazai talajon. *Agrokémia és Talajtan.* 28: 123-143.
- KÁDÁR I. - ELEK É. - Zilahy P.: Az őszi búza tápanyagforgalmának vizsgálata. *Magyar Mezőgazd.* 31: 49. sz. 9-10. 1976.
- KÁDÁR, I. - ELEK, É. - KAZÓ, B. - VARGA, Gy.: Vlijanie vozrasztajusciih doz mineralnü udobrenij na pocsvü is rasztenija. *Vth Cong. Jug. Soc. Soil Sci.* 409-416. Sarajevo. 1976.
- KEMENESY E.: Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1959.

- KERN, H.: Die Wirkung langjähriger Phosphatdüngung auf Boden und Ertrag. Phosphorsäure. 25:228-237. 1965.
- KERSCHBERGER, M. - RICHTER, D.: Untersuchungen zur Erhöhung des P-Gehalts im Boden (DL-Methode). Arch. Acker u. PflBau Bodenk. 16:915-919. 1972.
- KOPETZ, L.M.: Der Einfluss der Ernährung auf die Qualität der Ernteprodukte. Berichte der Bundesanstalt für alpine Landwirtschaft. 135-145. Admont. 1953.
- KOPETZ, L.M.: Nährstoffangebot und Nährstoffentzug als Grundlagen der Düngerplanung. Der Förderungsdienst. 6:1-4. 1958.
- KOPETZ, L.M.: Düngung und Qualität. Phosphorsäure. 20. 1-11. 1960.
- KOPETZ, L.M. Die Beeinflussung der Weizenqualität durch Düngungsmassnahmen. Inter. Kali-Institut 4. Regional-Kolloquium. 45-51. Belgrad. 1965.
- KÖHNLEIN, J. - KNAUER, N.: Ergebnisse der Kieler Dauerdüngungsversuche mit Phosphat und Kali. Schrift. Landw. Fak. Univ. Kiel. 39. Parey Verlag. Hamburg. 1965.
- KORICKAJA, T.D.: Ispol'zovanie radioaktivnogo izotopa foszfora dlja opredelenija szravnitel'noj uszvojaemoszti razlicsnüh foszfatov. In: Kaszickij. 1972.
- KRAUSS, A.: Einfluss der Ernährung der Pflanzen mit Mineralstoffen auf den Befall mit parasitären Krankheiten und Schädlingen. Z. PflErnähr. Bodenk. 124:129-147. 1969.
- KRÁMER M.: Műtrágyák és az istállótrágya hatásának, illetve kölcsönhatásának vizsgálata a martonvásári tartamkísérletekben. In: Trágyázási Kísérletek 1955-1964. 131-151. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1967.
- KRÁMER M. - FÜLEKY GY. - KÁDÁR I.: Izmenenie foszforonogo szosztojanija pocsvü na csernozjomah Vengrii, v dlitel'nüh opütah. KGST érték. Prága. 1975. okt. 12-17. Kézirat. (KGST soksz.) MTA TAKI. 8 p.
- KRÁMER M. - KÁDÁR I. - LATKOVICS GY-né - SARKADI J. - PEKÁRY K.: Néhány martonvásári hibridkukorica fajlagos NPK tartalma Közép- és Észak-Magyarország-i termőhelyeken. Kukoricatermesztési Kísérletek. 1968-1974. 51-62. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- KREJER, K.G.: Oszobannoszti plodorodija celinnüh i zalezsnüh dernovo-podzolisztogleevatüh pocsv i primenenie udobrenij na oszvaivaemüh pocsvah. In: Effektivnoszt udobrenij na vnov oszvaivaemüh zemljah. 21-39. Izd. Lening. Univsz. Leningrad. 1963.
- KREYBIG, L.: Gyakorlati trágyázástan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1951.
- KRUPKIN, P.I.: Effektivnoszt' mineralnüh udobrenij v szvjazi sz szoderzsaniem v pocsvé pitatel'nüh vécseosztv. Agrohímija. 12:55-59. 1969.
- KUDZIN, JU. K. - GUBENKO, V. A. - PASOVA, V.T. - JAROSEVICS, I.V.: Mobilizacija zapaszov foszfora v csernozjome i „zafoszfacsvanie” pri dlitel'nom primenenii udobrenij. Agrohímija. 7:31-37. 1970.
- KUZNECOV, N.I.: Zaviszimoszt' uroszav kukuruzü ot szoderzsánija podvizsnüh pitatel'nüh vécseosztv v oroszavemüh pocsvah Kirgizii. Agrohímija. 6:49-53. 1973.
- KÜKEDI E.: Helyettesíthető-e az istállótrágya műtrágyával? Magyar Mezőgazdaság. 16. 41. sz. 10-11. 1961.
- KÜKEDI E.: Hozzászólás. In: Gyórfy B.: Vetésforgó - Vetésváltás - Monokultúra. Agrártud. Közlem. 34:82-90. 1975.
- LATKOVICS Gy-né.: Istálló- és műtrágyázási kísérletek vetésforgóban. Agrártudomány. 10. 9. sz. 11-18. 1958.
- LATKOVICS Gy-né.: Adatok a kukorica műtrágyázásához. II. A műtrágyázás hatása a Mv 5. kukorica fejlődésére és növekedésére. Agrokémia és Talajtan. 9:479-490. 1960.

- LATKOVICS Gy-né.: NPK-műtrágyahatások vizsgálata kukorica monokultúrában. In: Trágyázási Kísérletek 1955-1964. 192-207. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1967.
- LATKOVICS Gy-né.: A műtrágyagyártás és felhasználás jelenlegi helyzete és várható irányzatok. Agrokémia és Talajtan. 21:215-248. 1972.
- LATKOVICS Gy-né.: NPK-műtrágyahatás vizsgálata kukorica monokultúrában. I. A műtrágyázás hatása a kukorica szemtermés NPK-tartalmára. Agrokémia és Talajtan. 24:259-278. 1975.
- LATKOVICS Gy-né. - KRÁMER M.: Az őszi búza és a kukorica műtrágyázás hatásának vizsgálata tartamkísérletekben (1960-1967). I. Szemterméseredmények. Agrokémia és Talajtan. 17:189-200. 1968.
- LÁNG G.: Istállótrágyagazdálkodás a vetésváltó földművelési rendszerben. Keszthelyi Mezőgazdasági Akadémia Kiadványai. Budapest. 1960.
- LÁNG I.: Műtrágyázási tartamkísérletek homoktalajokon. Akadémiai Doktori Disszertáció. 1973.
- LÁSZTITY B.: Adatok a kukorica műtrágyázásához, erősen meszes homoktalajon. Növénytermelés. 23:351-355. 1974.
- LÁSZTITY B.: Az NK-műtrágyázás hatásának vizsgálata kukorica jelzőnövénnyel meszes homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. 23:407-417. 1974a
- LÁSZTITY B. - KÁDÁR I.: Adatok a feltöltő PK műtrágyázás vizsgálatához barna erdőtalajon. Agrokémia és Talajtan. 27:119-129. 1978.
- LÁSZTITY B. - KÁDÁR I.: Az őszi búza száraanyag-felhalmozódásának, valamint tápanyagfelvételének tanulmányozása szabadföldi kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 27:429-444. 1978.
- LÁSZTITY B. - KÁDÁR I.: A műtrágyázás, termés és hektolitersúly összefüggése őszi búzánál. Növénytermelés. 27:175-180. 1978.
- LÁSZTITY B. - KÁDÁR I. - ELEK É.: A foszfor és kálium műtrágyázás növényre gyakorolt hatásának vizsgálata karbonátos homokon. Agrokémia és Talajtan. 27:130-140. 1978.
- LESSMAN, G.M. - ELLIS, B.G.: Response of Phaseolus vulgaris to zinc as influenced by phosphorus level and source. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison. 35:935-938. 1971.
- MAGNICKIJ, K.: Diagnosztika potrebnoszti rasztenij v Udobrenijah. Moszkovszkij Rabocsij. Moszkva. 1972.
- MARGITTAI L. - BODOR P-né - KÖRNYEI, B-né: A növényanalízis alkalmazásának lehetősége az őszi búza tápanyagellátásában. Áll. Gazd. Orsz. Közp. Budapest. 1976.
- MARKOVSKIJ, A.G.: Balansz azota, foszfora i kalija v pahotnüh pocsvah Kujbüsevszkój oblaszti i puti ego ulucssenija. Agrohimija. 10:50-60. 1971.
- MARX, K.: A tőkés termelés előtti tulajdonformák. Szikra. Budapest. 1953.
- MÁTÉ F. - BODOLAY I-né - KAZÓ B.: A talaj rehológiai tulajdonságainak változása műtrágyák hatására. Mezőgazd. Kemizálása. 134-140. Keszthely. 1974.
- MELTON, J.R. - ELLIS, B.G. - DOLL, E.C.: Zinc, Phosphorus and lime interactions with yield and zinc uptake by Phaseolus vulgaris. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. Madison. 34:91-93. 1970.
- MENGEL K.: A növények táplálkozása és anyagcsereje. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1976.
- MERGENTHALER N.: A műtrágyák, illetve növényvédőszer hatékonyságának vizsgálata matematikai statisztikai módszerekkel. Mezőgazdaság Kemizálása. 55-58. Keszthely. 1973.

- MERGENTHALER N. - NAGY P-né: A búzalevél tápanyag-tartalmának összefüggése a talaj tápanyag-tartalmával, a műtrágyaadagokkal és a hozamokkal. *Mezőgazdasági Kemizálása*. 193-199. Keszthely. 1974.
- MÉSZÁROS S.: A műtrágyázás hatékonysága és optimumai. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1972.
- Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv. KSH. Budapest. 1972.
- Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv. KSH. Budapest. 1976.
- MIHAJLINA, V.I.: O nekotorih geograficeszkih zakonomernosztjah dejsztvija i poszledejsztvija foszforüh udobrenij. *Agrohimija*. 7:12-21. 1972.
- MOKRIEVICS, G.L. - JAROVÓJ, N.V.: Vlijanie foszforüh udobrenij na iszpol'zovanie cinka rasztenijami. *Agrohimija*. 7:147-149. 1970.
- MUNK, H.: Zur Festlegung von Phosphatgrenzwerten bei der Untersuchung von Grünlandböden. *Phosphorsäure*. 28:19-31. 1969.
- MUNK, H.: Phosphatdüngung- Phosphatverfügbarkeit. *Phosphorsäure*. 29:35-56. 1971.
- NAGY P-né - MERGENTHALER N.: A búza talaj- és levélvizsgálati eredmények, valamint a hozamok összefüggésének vizsgálata a Bács megyei állami gazdaságokban. *Mezőgazd. Kemizálása*. 64-71. Keszthely. 1975.
- NAJDIN, P.G. - GULIDOVA, I.V.: Geograficeszkie oszobennosztji biologiceszkogo vünosza iz pocsvü azota, foszfora i kalija. *Agrohimija*. 10:130-140. 1969.
- NEERGAARD, Ch.: Düngungsversuche mit Thomasphosphat in Dänemark. *Phosphorsäure*. 22:152-161. 1962.
- NOVÁK, B.: Vyznam fosfatu v respirometrickem testu pudnich vzorku. *Ved. Prace. UVURV*. 9:185-192. 1965.
- OLSEN, S.R. - COLE, C.V. - WATANABE, F.S. - DEAN, L.A.: Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonata. US Dept. Agric. Circular. No 939. 19 pp. 1954.
- OLSON, R.A. - STUKENHOLTZ, D.D. - HOOKER, C.A.: Phosphorus-Zinc relations in corn and sorghum production, *Bett. Crops*. Washington. 49:19-24. 1965.
- PARKER, F.W.: Udobrenie i ekonomiceszkoe razvitie. In: *Udobrenija*. 19-40. Izd. „Kolosz”. Moszkva. 1965.
- PECZNIK, J.: A gazdaságos műtrágyázás kérdéseiről. *Agrártud. Közlemények*. 28:195-199. 1969.
- PEKÁRY K.: NPK műtrágya adagolási kísérletek kukoricával két észak-magyarországi termőhelyen. In: *Kukoricatermesztési Kísérletek 1965-1968*. 186-201. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1969.
- PETERBURGSZKIJ, A.V.: O balansze azota, foszfora is kalija v zemledelii SzSzsZR. *Izv. AN SzSzsZR. Szerk. Biol.* 5:637-648. 1968.
- PETERBURGSZKIJ, A.V. - KUDEJAROVA, A.JU. - POLOMKINA, Z.M.: O balansze azota, foszfora i kalija zemledelii Szovjetszkogo Szozjuza v 1969 g. *Agrohimija*. 9:12-17. 1972.
- PFULB, K.: Ergebnisse von Feldversuchen in Baden-Württemberg zur Nach-Prüfung der Grenzwerte der chemischen Bodenuntersuchung. *Phosphorsäure*. 25:217-227. 1965.
- PFULB, K. - WIECHENS, E.: Ergebnisse von Phosphatdüngungsversuchen auf Böden mit niedrigem und mit hohem Phosphatgehalt sowie Folgerungen für die Düngung. *Phosphorsäure*. 28:144-160. 1970.
- PONOMAREVA, A.T.: O balansze azota, foszfora i kalija v zemledelii Kazahsztana. *Agrohimija*. 12:45-60. 1969.
- PONOMAREVA, A.T.: Szoderzsanie podvizsnogo foszfora v pocsvü v zaviszimoszti ot udobrenij i korreljativnaja szvjaz sz uroszajnosztju. *Agrohimija*. 6:17-23. 1973.

- POSZTNIKOV A.: A mezőgazdaság kemizálása és a talaj tápanyag-mérlege. Nemz. Mezőgazd. Szemle. 20:15-18. 197 .
- PRIMOST, E.: Die Düngung im Getreidebau. Weizen. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. 174-238. Ed.: Scharrer, K. - Linser, M. Springer Verlag. Wien. 1965.
- PRJANISNIKOV, D.N.: Agrohimiya. (Vvedenije). Szelhozgiz. Moszkva. 1934.
- PRJANISNIKOV, D.N.: Azot v zemledelii SzSzSzR. 1945. In: Populjarnaja Agrohimiya. Izd. „Nauka”. Moszkva. 196 .
- PROHÁSZKA K. - CSERNI I.: Növekvő foszforműtrágya adagok hatása a monokultúrában termesztett kukorica szemtermésének Mn, Zn és Cu tartalmára Duna-Tisza közeli lepelhomok talajon. Növénytermelés. 18:75-80. 1969.
- RICHTER, D. - KERSCHBERGER, M.: Auswertung langjähriger P-Steigerungsversuche zur Ermittlung des für hohe Pflanzenerträge erforderlichen P-Gehalts im Boden. Arch. Acker- u. PflBau Bodenk. 16:903-914. 1972.
- RIEHM, H. - WICHENS, E.: Ergebnisse von Bodenuntersuchungen im Bundesgebiet 1955-1965. und ihre Auswirkung auf die Düngung. Phosphorsäure. 27:36-46. 1967.
- SALMON S.C. - HANSON A.A.: A mezőgazdasági kutatás elméleti és gyakorlati problémáiról. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1970.
- SARKADI J.: Útmutató a trágyázási kísérletek tervezéséhez és végrehajtásához. Kis. Módsz. Témakoll. Kiadv. Budapest. 1959.
- SARKADI J.: Szerves- és műtrágyák hatásának vizsgálata tartamkísérletekben. Tudomány és Mezőgazdaság. 3:25-33. 1965.
- SARKADI J.: A műtrágyázás fejlődése és alkalmazásának néhány problémája. Agrártud. Közlem. 28:177-182. 1969.
- SARKADI J.: A műtrágyaigény becsülésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1975.
- SARKADI J. - DEBRECZENI B.: Trágyázási Kísérletek. I. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1953-1967. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1968.
- SARKADI J. - KRÁMER M.: Növényi anyagok és szerves-trágyák tápanyag-tartalmának vizsgálata. I. Agrokémia és Talajtan. 10:85-98. 1961.
- SARKADI J. - KRÁMER, M.: Bemerkungen zur Beurteilung der Bodenuntersuchungen bzw. zur Zusammenstellung von Nährstoffkartogrammen. KGST érték. Balatonalmádi. 1966. máj. 8-14. Kézirat (KGST soksz.) MTA TAKI. 8 p.
- SARKADI J. - BÁNÓ T.: Szerves- és műtrágyák hatásának vizsgálata tartamkísérletekben. In: Trágyázás Kísérletek 1955-1964. 74-95. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1967.
- SARKADI, J. - KÁDÁR, I.: The interaction Between Phosphorus Fertilizer Residues and Fresh Phosphate Dressings in a Chernosem Soil. Agrokémia és Talajtan. 23. Suppl. 93-100. 1974.
- SARKADI J. - KRÁMER M. - THAMM Fné: Kalcium- és ammóniumlaktátos talajkivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. Agrokémia és Talajtan. 14:75-86. 1965.
- SARKADI, J. - BALLA, H. - FÜLEKY, GY. - KÁDÁR, I. - KRÁMER, M.: Interaction Between P-fertilization and P-balance of the Soil. VIIIth Int. Fert. Cong. Sec. 4. Vol. II. 135-142. Moszkva. 1976.
- SÁRKÁNY P.: A műtrágyázás távlatai. Tudomány és Mezőgazdaság. VI. évf. 5.sz. 27-27. 1968.
- SÁRKÁNY P.: Biológiai ipar - a jövő mezőgazdasága. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1974.
- SCHARRER, K. - MENGEL, K.: Aufnahme und Verteilung der Kationen Ca, Mg, K und Na in der Pflanze bei variierter K- und Mg-Düngung sowie bei extraradikaler K-Versorgung. Plant and Soil. 12:377-396. 1960.

- SESTIC, S. - DERKACEV, E.: Die Wirkung von Phosphat- und Kalidüngung bei Weizen und Mais auf Tschernosem. Phosphorsäure. 22:318-325. 1963.
- SCHARM, B.L. - RAJAT, De.: Pattern of dry matter accumulation and nutrient yield in tall and dwarf varieties of wheat in relation to nitrogen and phosphorus fertilization. Proc. Ind. Sci. Acad. 39:719-726. 1973.
- SHUKLA, U.C. - PRASAD, K.G.: Ameliorative role of zinc on maize growth under alkali soil condition. Agron. J. Madison. 66:804-806. 1974.
- STOCKER, K. - GERICKE, S.: Wirkung langjähriger Phosphatdüngung auf Acker- und Grünland. Phosphorsäure. 27:113-143. 1967.
- *SIMGOND E.: Adatok a talaj asszimilálható foszforsav-tartalmának meghatározásához. Magyar Chem. Folyóirat. 7:3-16. 1901.
- *SIMGOND E.: A növénytáplálkozással összefüggő talajtani kérdések. Kísérletügyi Közl. 4:103-143. 1901a.
- *SIMGOND E.: Mezőgazdasági Chémia. Term. Tud. Társulat. Budapest. 1904.
- *SIMGOND E.: A mezőgazdasági növények legfontosabb táplálékanyagai. Term. Tud. Közl. 41:1-36. 1910.
- *SIMGOND E.: Általános Talajtan. Korda Nyomda. Budapest. 1934.
- SIK K.: A foszforsav és kálium meghatározása szakaszos kioldással borátos talajkivonatból. OMMI Évkönyv. 6:167-176. 1964.
- SIK K. - FÁBRY Gy-né: Gyors eljárás a talajok oldható-P tartalmának megítélésére. Agrokémia. 2:148-156. 1950.
- SIK K. - SCHÖNFELD S.: A talajsajátságok időszakos változásairól. Agrokémia és Talajtan. 1:269-290. 1951.
- SINGH, D.V. - TRIPATHI, B.R.: Effect of phosphorus fertilization on zinc nutrition of wheat at different stages of growth. J. Indian Soc. Soil Sci. New Delhi. 22:317-320. 1974.
- SCHMITT, L.: Wirkung der Thosmasphosphatdüngung in den ältesten Feld- und Wiesendüngungsversuchen 1900-1965. Phosphorsäure. 27. 1-24. 1967.
- SCHMITT, L. - BRAUER, A.: Ein zwölfjähriger Phosphatversuch auf Dauergrünland des Vogelsbergs. Phosphorsäure. 28:39-55. 1969.
- SZABADVÁRY F. - SZÓKEFALVI N.Z.: A kémia története Magyarországon. Akadémiai Kiadó. Budapest. 1972.
- SZABOLCS I.: A korszerű talajvizsgálatok szerepe a műtrágyázásban. Tud. és Mezőgazd. 6. /5/ 1-8. 1968.
- SZABOLCS I.: Talajvizsgálatok és műtrágyázás. Agrártud. Közlem. 28:189-194. 1969.
- SZARISVILI, I.F. - EGORASVILI, N.V.: Vlijanie szisztematicszeszkogo primenenija udobrenij na okulturivanie pocsv csajnüih plantacij. Trudü X. Mezsd. Kongr. Pocsvoved. 4:63-69. Moszkva. 1974.
- SZEGLI, J. - GAMAL-EL-DIN, H. - GULYÁS, F. - KÁDÁR, I.: Effects of Fertilization on Biological Activity of the Soil. VIIIth Int. Fert. Cong. Sec. 4. Vol. II. 143-150. Moszkva. 1976.
- SZELEVCOVA, G.A.: Vlijanie dlitel'nogo primenenija foszfornüih udobrenij na szoderzsanie podvizsnogo cinka v dernovo-podzolisztöj pocsv. Himija sz/h. Moszkva. 8:7-9. 1970.
- SZOKOLOV, A.V.: Zapaszü v pocsvah uszvojaemüih foszfatov i ih nakoplenie pri vneszenii foszfornüih udobrenij. Pocsvovedenie. 2:1-19. 1958.
- SZOKOLOV, A.V.: Zafoszfacsvanie pocsv i poszledejsztvie foszfornüih udobrenij. Agrohómija. 2:3-6. 1976.
- SZOKOLOV, A.V. - CERLING, V.V.: Diagnosztika potrebnosztüi rasztenij v udobrenijah. Izd. "Kolosz". Moszkva. 1970.

- SZOZINOV, A.A.: Urozsaj is kacsesztvo zerna. Novoe v zszizni, nauke, technike. Szer. "Szelszkoe hozjajsztvo". 4. sz. Izdatelsztvo "Znanie". Moszkva. 1976.
- SZUKALSKI, H. - ZEMBECHYNSKA, A.: Wplyw stosowania potasu, waonia i magnezu na kszaltowanie plonow I zawartosc tych kationów w rolinach. Pam. Pulawski. Warszawa. 24:149-160. 1967.
- SZŰCS L.: A mészlepedékes csernozjomok osztályozásának továbbfejlesztése és alkalmazása. Agrokémia és Talajtan. 14:153-170. 1965.
- THAMM FNÉ - KRÁMER M. - SARKADI J.: Növények és trágyaanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium-molibdo-vanadátos módszerrel. Agrokémia és Talajtan. 17:145-156. 1968.
- TIMÁR MNÉ: Az ökológiai szemlélet és talajtan jelentősége. Agrokémia és Talajtan. 24:437-444. 1975.
- TÓTH T. - KUZMIÁK M.: A magyar talajerőgazdálkodás helyzete és jövője a tervgazdaságban. Agrártud. 1:65-85. 1949.
- TRUTNEV, A.G.: Celinnüe i zalezsnüe zemli szevero-zapadnoj zonü, ih oszvoenije i effektivnoszt' udobrenij na nih. In: Effektivnoszt' udobrenij na vnov oszvaivaemüh zemljah. 3-20. Izd. Lening. Univerz. Leningrád. 1963.
- UNGER, H.: Der Zellulosestest, eine Methode zur Ermittlung der zellulolytischen Aktivität des Bodens in Feldversuchen. Z. Pflanzenernährung, Düng. Bodenk. 91:45-52. 1960.
- ID.VÁRALLYAY, GY.: A műtrágyahatást irányító kísérletek és vizsgálatok. Agrokémia. 2:287-302. 1950.
- ID.VÁRALLYAY, GY.: Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajterképezésig. Agrokémia és Talajtan. 3:289-298. 1954.
- UEBEL, E.: Über den Einfluss der Kalidüngung auf die zellulolytische Aktivität eines Niedermoorbodens. Pedobiologia. 10:149-160. 1970.
- VOISIN A.: A talaj és a növényzet, az állat és az ember sorsa. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 1964.
- VOROBEVA, SZ.A. - BUROV, D.I.: Obsee zemledelije. Izd. "Kolosz". Moszkva. 1964.
- WICKE, H.J.: Wirkung hoher Kaliumgaben auf den Ertrag und einige Qualitäts-merkmale landwirtschaftlicher Kulturpflanzen (Ergebnisse von Feldversuchen.) A. Thier-Arch. 12:889-902. 1968.
- WITTER, B.- BERGMANN. W.: Ergebnisse statischer Phosphorsäuresteigerungs-versuche zur Überprüfung der Grenzzahlen der Doppellaktatmethode. A. Thier-Arch. 7:311-330. 1963.
- ZEZSCHWITZ, E.: Zur Frage der Festlegung von Phosphorsäure im Boden. Phosphorsäure. 13:117.144. 1953.
- ZUKKER F.: Mezőgazdaságunk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. Mezőgazd. Közlöny. 11:10-16. 1938.
- ZSUPKINA, M.N.: Izmenenije agrohímicseszkih pokazatelej plodorodija na vnov oszvoennüh zemljah. In: Effektivnoszt' udobrenij na vnov oszvaivaemüh zemljah. 73-77. Izd. Lening. Univerz. Leningrád. 1963.
- PAPP ZS. - SZABÓ M. - SVÁB J.: A nagy adagú műtrágya hatása az őszi búza fejlődésére. Agrokémia és Talajtan. 14:111-124. 1965.
- SVÁB J.: Új termélelemzési módszer a növényfajták fejlődésének jellemzésére. MTA Agrártud. Oszt. Közl. 19:253-261. 1961.
- SVÁBJ.: Trágyázási és egyéb agrotechnikai kísérletek értékelése kumulatív termélelemzéssel. Agrokémia és Talajtan. 11:219-236. 1962.

Opponensi vélemény (Dr. Loch Jakab)

vedesopp2

Kádár Imre: „Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága között” c. kandidátusi értekezéséről

A disszertáció címe is jelzi, hogy Jelölt a kandidátusi értekezések megszokott kereteit meghaladó téma feldolgozására vállalkozott. A disszertáció sokrétű, gazdag anyagot tartalmaz, mely visszatükrözi a Szerző széles érdeklődési körét és kutatási tevékenységét. Ezt tanúsítja az értekezés témaköréből készült 41 közlemény és 24 előadás is. Publikációs tevékenysége arra is utal, hogy egyéni kutatómunkája mellett aktívan vett részt különböző csapatok munkájában és ez az együttműködés tette lehetővé a választott téma sokoldalú feldolgozását.

Témaválasztása időszerű. A műtrágya felhasználás nagymérvű növekedése, a terméseredmények emelkedése, az egyre inkább iparszerűvé váló mezőgazdasági termelés szükségessé teszi a műtrágyázás elveinek és módszereinek felülvizsgálatát. Az energiatakarékos gazdálkodás is megkívánja, hogy a műtrágyákat minél gazdaságosabban és ésszerűen használjuk fel.

Szerző munkájának az volt a célja, hogy a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága közötti összefüggéseket mezőgazdaságunk jelenlegi viszonyai között vizsgálja. E célkitűzés alátámasztására helyesen állapítja meg, hogy „a mezőgazdaság teljesítő képességét alapvetően meghatározó növénytermesztés, a tápanyag-utánpótlás színvonalának függvénye”.

Az átfogó jellegű téma és a sokirányú vizsgálat szükségessé tette, hogy Jelölt eltérjen a disszertációk hagyományos szerkezeti felépítésétől és munkáját több különálló, egymáshoz mégis szorosan kapcsolódó fejezetre ossza. A szakirodalmat fejezetenként tárgyalja 230 hivatkozás alapján. Nagyon alapos a hazai szakirodalom feldolgozása. Egyes fejezetekben, melyekben ez indokolt és lehetséges volt a tudománytörténeti szempontból fontos régebbi, alapvető forrásmunkákra is hivatkozik. Az idézett külföldi forrásmunkák is jól válogatottak és szorosan a vizsgált témához kapcsolódnak. A szakirodalmat részben adatforrásként, részben mondanivalójának alátámasztására használja fel. Nem törekszik az egyes forrásmunkák kritikai értékelésére, de azok tanulságait helyesen foglalja össze.

A disszertáció első részében áttekintést ad a tápanyag-gazdálkodás fejlődéséről, bemutatja a különböző gazdálkodási módok hatását, a hazai agrokémiai gondolkodás fejlődését. Országos tápanyag-mérlegek alapján elemzi tápanyag-gazdálkodásunk helyzetét és az elmúlt évtizedekben bekövetkezett jelentős változásokat. Kimutatja, hogy a tápanyag-mérleg az 1970-es években válik pozitívvá, az évezredes tápanyaghiányt felváltotta a talajgazdagító trágyázás.

Hazánk tápanyag-gazdálkodását néhány nyugat-európai országgal összevetve megállapítja, hogy a műtrágya felhasználás nemcsak elérheti, hanem meg is haladhatja az említett országok műtrágyázási szintjét. Az iparszerű növénytermesztés a nagy és biztonságos termések elérése érdekében megfelelő tápanyagbőséget feltételez a talajban. Az intenzív gazdálkodás melletti fokozódó műtrágya felhasználás szükségét igazolják a bemutatott osztrák tápanyagforgalmi adatok is.

A disszertáció első részét képező elemző, helyzetfelmérő tanulmányokat jól egészíti ki a második rész, melyben Jelölt szabatos szántóföldi kísérletek alapján tárgyalja a műtrágyázás hatását a termés mennyiségére és minőségére, a talaj tápanyag-tartalmára, a tápanyagok felvételére, a növények betegség-ellenállóságára és néhány talajtulajdonságra. Foglalkozik a növényanalízis alkalmazásának lehetőségeivel és a P, K feltöltő trágyázás hatékonyságának kérdéseivel.

A szabadföldi kísérletek termésadait nagyszámú talaj- és növényvizsgálat egészíti ki, melyeket jól szerkesztett táblázatok és ábrák segítségével mutat be. A kísérleti adatok matematikai-statisztikai értékelése lehetővé tette az eredmények objektív értékelését.

A szabadföldi kísérletek egy részében a foszfortrágyázás hatását és utóhatását vizsgálta. Ez a kérdés egyrészt azért fontos, mivel Jelölt vizsgálatai szerint az országos átlagban pozitív tápanyag-mérlegen belül foszforból átlagosan a termésekkel kivont mennyiségek 2-2.5-szeresét pótoljuk vissza napjainkban; másrészt azért, mivel a feleslegben alkalmazott foszfortrágya érvényesülése a műtrágyázás egyik legvitatottabb kérdése.

A vizsgált tartamkísérlet adatai alapján kimutatta, hogy a foszfortrágyázás hatása nagymértékben függ az előző évek foszfortrágyázási szintjétől, mely a talajvizsgálatok eredményeiben is visszatükröződik. Azt Olsen módszerrel érzékenyebben nyomon követhető a talaj foszforállapotában beálló változás, mint az AL módszerrel.

A mezőföldi mészlepedékes csernozjomon szerzett tapasztalatok alapján Jelölt határértékeket javasol a talaj foszforellátottságának becslésére. Felvetődik a kérdés, hogy az ajánlott határértékek mennyire általánosíthatók a többi hazai csernozjomra?

A kísérleti munka egyik legfontosabb eredménye, hogy állást foglalt a feltöltő trágyázás sokat vitatott kérdésében. A nagyhőrcsöki és más szabadföldi kísérletekben igazolta, hogy a foszforral gyengén ellátott talajokon a kielégítő ellátottság egyszeri feltöltő trágyázással és lassú feltöltéssel egyaránt biztosítható. Megállapítja, hogy a rosszul ellátott talajon a melioratív adagok hatása is gazdaságos lehet és jelentős utóhatást eredményezhet 50-70 %-os foszfor érvényesüléssel a friss műtrágyaadagokhoz képest. Hangsúlyozza, hogy a feltöltő trágyázás csak ott hatékony, ahol egyéb tényezők nem limitálják a termést. Körültekintően elemzi a feltöltő trágyázás egyéb hatásait és a figyelembe veendő szempontokat.

A foszforvizsgálatok szükségességét és eredményeit elismerve felmerül egy újabb kérdés. A disszertációt végigolvasva sok helyen tapasztalható, hogy Jelölt erősen összekapcsolja a talajok termékenységét a talaj foszfortartalmával, illetve a foszforellátottság mértékével. Kérem, hogy az opponensi véleményemre adott válaszában térjen ki arra, mennyire tekinti a foszforellátottságot meghatározó tényezőnek.

A szabadföldi kísérletek másik részében öt talajtípuson többtényezős N, P, K kísérletekben vizsgálta a nagyadagú műtrágyázás hatását. Az említett kísérletek részben a P és K feltöltő trágyázás vizsgálatához szolgáltattak alapot, részben

nagyadagú műtrágyázás kísérő hatásainak tanulmányozására nyújtottak lehetőséget.

Így pl. számszerű adatokat kaptunk a nagy foszforadagok cink felvételre gyakorolt hatásáról. Ezek értékelésénél azonban figyelembe kell vennünk, hogy az egyszeri nagyadagok kicsapó hatása – az átmenetileg jelenlévő nagy vízdoldható foszforkoncentráció következtében – sokkal erélyesebb mint általában a megfelelő AL-oldható foszfortartalommal egyensúlyban lévő vízdoldható foszfortartalomé. Kérdésem, hogy jelöltnek mi a véleménye erről?

A polifaktoriális kísérleteket egyébként éppen azért tartom jelentősnek, mivel eredményeink alapján a P, K feltöltő trágyázás másodlagos hatásaira is következtethetünk. Az elvégzett talajkémiai, talajbiológiai és növényvizsgálatok sok hazai vonatkozásban új és figyelemre méltó eredményt szolgáltatottak.

Végül ki szeretném emelni Jelölt tevékenységét a levélanalízis módszerének alkalmazásával kapcsolatban. Az értekezésben közölt határértékek és módszertani javaslatok elősegítik a módszer hazai térhódítását és eredményes felhasználását a műtrágyázási szaktanácsadási gyakorlatban.

Összefoglalva megállapítható, hogy az értekezés tartalmi és formai tekintetben egyaránt megfelel a kandidátusi értekezések követelményeink.

Az értekezés legfontosabb új tudományos eredményeit és azok gyakorlati hasznosításának lehetőségeit a tézisek IV. pontja foglalja össze. Ezeket a magam részéről elfogadom.

Az elmondottak alapján javasolom K á d á r Imre értekezésének nyilvános vitára bocsátását és a vita alapján a mezőgazdasági tudományok kandidátusa fokozat odaítélését.

Debrecen, 1980. május 4.

Dr. Loch Jakab s.k.
egyetemi tanár
a mg-i tudományok kandidátusa

Opponensi vélemény (Dr. Pecznik János)

vedesopp1

Kádár Imre. „Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága között” című kandidátusi disszertációjáról

A világ mezőgazdasága az elmúlt évtizedekben a növénytermesztés hozamainak jelentős növekedése ellenére sem tudta megfelelő szinten kielégíteni a rohamosan szaporodó emberiség élelmiszerszükségletét. Mivel nem várható, hogy a népesség szaporodásának üteme a közeljövőben csökkenne, a termelés oldaláról kell megkísérelni a szükségletek és az élelmiszertermelés ellentmondásának feloldását vagy legalábbis a tompítását.

Ismeretes, hogy a növénytermesztés extenzív fejlesztésének lehetőségei világszerte kimerülőben vannak, a fejlett mezőgazdasággal rendelkező országokban pedig egyenesen a termőterületek fokozatos csökkenésével kell számolni. Így az élelmiszertermelés, illetőleg az élelmiszertermelés alapján képező növénytermesztés fejlesztésének fő útja világviszonylatban is az intenzív fejlesztés. Az elmúlt néhány évtizedben végbement fejlődés következtében jelentősen bővültek a növénytermesztésben a termésátlagok növelésének lehetőségei. Ez a fejlődés az intenzívebb növényfajták előállításával, a kártevők elleni védekezés kiterjesztésével, az öntözéses gazdálkodás területének növelésével, de különösen a műtrágya-felhasználás ugrásszerű növekedésével jellemezhető. A mai körülmények között, de nyilván a belátható jövőben is az intenzív műtrágyázás lesz a növénytermesztés legfontosabb anyagi alapja.

Ami hazánk mezőgazdaságát illeti, az elmúlt egy-két évtizedben látványos sikereket hozó fejlődésnek lehettünk tanúi. E sikerekben döntő szerepe volt és van a mezőgazdaság kemizálásának, ezen belül is az intenzív műtrágyázásnak. Ez akkor is így van, ha az utóbbi egy-két évben ellenkező előjelű tendenciák is mutatkoznak: 1979-ben csökkent a mezőgazdaságunk műtrágya felhasználása, egy hektár mezőgazdasági területre hatóanyagban számolva mindössze 208 kg műtrágya jutott. Kérdés, hogy ez a csökkenés csak átmeneti jellegű-e, s nem irreálisak-e azok a közép- és hosszú távú népgazdasági tervek, amelyek a műtrágya felhasználás viszonylag gyors és jelentős mértékű további növelését irányozzák elő.

Kádár Imre disszertációjának összefoglalójában erről a következőket írja:

„Tápanyag-gazdálkodásunk helyzetét nemzetközi megvilágításba helyezve, elsősorban néhány nyugat-európai országgal összevetve arra a megállapításra jutottam, hogy a korábban sokat hangoztatott érvekkel és véleményekkel ellentétben mezőgazdaságunk viszonylagos csapadékszegénysége, monokultúrás gabonatermesztő jellege, alacsonyabb szintű szervestrágya-gazdálkodása az ország fajlagos műtrágyaigényét nem csökkentő, hanem növelő tényező. Mezőgazdaságunk műtrágya felhasználása nemcsak elérheti, hanem meg is haladhatja a legfejlettebb nyugat-európai országok szintjét a jövőben. Ilyen irányban hat a történelmi múlt is. Az iparszerű

növénytermelési rendszerek által megkívánt követelmények, a magas és biztonságos termésszintek elérése egy bizonyos tápanyagtelítettséget tételez fel a talajban, az a relatív tápanyagbőség megfelelő műtrágyázással érhető el. Németországban pl. a talajok foszfor-mérlege 60 évvel korábban, már a századfordulón egyensúlyba került. Nekünk történelmileg rövidebb idő alatt kell megtennünk azt az utat, amely a tápanyagokkal jól ellátott és termékeny talajokhoz vezet. Nem kétséget, hogy ez a momentum műtrágyaigényünket tovább növeli.”

A disszertációban közölt megállapítások közül a fentiekben idézetteket tartom a legfontosabbnak, s nyilván a Jelölt is elsősorban ennek a tételnek a helytállóságát igyekezett munkájában bizonyítani.

Jelölt értekezésének első részében a talaj termékenységének és tápanyag-ellátottságának kapcsolatait elemzi irodalmi adatok és összehasonlító számítások alapján. Megállapítja, hogy Magyarországon az elmúlt évszázadokban, sőt a jelen század első felében is rablógazdálkodás folyt a talaj tápanyagaival; elsősorban ennek tulajdoníthatók a növénytermesztés alacsony terméshozamai. Mint írja: „Termésátlagaink lassú emelkedése a '60-as évek elejével figyelhető meg és a '70-es évek első felében válik a növekedés látványossá. Ebben az időszakban gyökeres átalakulások történnek tápanyag-gazdálkodásunkban, az évezredet tápanyaghiányt felváltja a tápanyag-mérleg pozitívuma, a talajgazdagító trágyázás.”

A Jelölt disszertációjának már az első részében is kiemelten és hangsúlyozottan foglalkozik a talaj foszforállapotának kérdésével. Magam is úgy ítélem meg, hogy a foszforkérdés az agrokémia, a tápanyag-gazdálkodás központi problémája, minden ide tartozó feladat (makro- és mikroelemellátás, a műtrágyagyártás fejlesztése stb.) csakis ennek figyelembevételével, ennek függvényében oldható meg eredményesen.

A Jelölt értekezésében nagy irodalmi anyagot dolgozott fel. Az irodalomjegyzékben 230 forrásmunkát sorol fel. Az irodalom feldolgozását eredetinek és nagyon jónak tartom. A szakirodalmi anyag megfelelő csoportosításával és értékelésével a Jelölt elérte, hogy az ide vonatkozó fejezetek a disszertáció szerves részévé váltak.

A kísérleti részben („A talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsági közötti összefüggések vizsgálata”) a Jelölt először az országos tápanyag-mérlegek elemzését végzi el. Igen érdekesek azok a megállapításai, amelyek a szomszédos Ausztria különböző gazdaságainak tápanyag-mérlegére, tápanyag-gazdálkodására vonatkoznak.

A szorosabb értelemben vett kísérleti részben („Szabadföldi kísérletek”) gazdag vizsgálati anyagot közöl a Jelölt. Itt nagyobb részben a nagyhőrcsöki tartamkísérletekről van szó, de egyes fejezetekben a Kompolton, Órbottyánban és Szilvásváradon végzett kísérletek is ismertetésre kerülnek.

A Jelölt – amint erre disszertációjának előszavában ő maga is utal – messze túlment a egyszerű adatközlés szintjén, s a vitatott kérdésekben is határozott állásfoglalásra törekedett. Következtetései, megállapításai véleményem szerint reálisak, kísérletileg is megalapozottak.

Munkája komplex jellegű és méreteiben is imponáló. Teljesen érhető és nagyon is indokolt volt a Jelölt részéről a team-munkában rejlő lehetősége kiaknázás, mert így vált lehetővé a talajtermékenység és a tápanyag-ellátottság

összefüggéseinek sokoldalú és mélyreható vizsgálata. Éppen a sokoldalú összefüggések miatt elég nehéz is az értekezésben közlőtekből egyes részeredményeket kiemelni. A legfontosabb megállapítások talán a következőkben összegezhetők:

A tápanyag-mérlegek vizsgálata alapján a Jelölt kimutatta, hogy mintegy 10-15 évvel ezelőtt, egyre gyorsuló ütemben olyan változások indultak meg tápanyag-gazdálkodásunkban, melynek eredményeképpen az évezredet tápanyaghiányt a tápanyag-mérleg pozitívuma, a talajgazdagító trágyázás váltotta fel. Elsősorban ennek köszönhető a termésátlagok látványos növekedése. A nagy és biztonságos termésszintek elérése bizonyos tápanyag-telítettséget tételez fel a talajban, ami megfelelő műtrágyázással érhető el. Véleményem szerint ez a megállapítás alapul szolgálhat egy-egy mezőgazdasági termelőüzem tápanyag-gazdálkodási tervének előkészítéséhez, de alapja lehet a műtrágyázással kapcsolatos népgazdasági terveknek is.

Kiemelten foglalkozott a Jelölt a talaj foszforellátottsági szintjének a talaj termékenységében való szerepével. Kísérletei alapján megállapította: „...trágyázási rendszereinket úgy kell alakítanunk, hogy a kívánatos ellátottsági szinteket létrehozhassuk a talajban. Nemcsak a talaj termékenységének egyszerű fenntartásáról, hanem növeléséről, bővített újratermeléséről is gondoskodnunk kell.”

A gazdag anyagból a Jelölt részben egyéni részben a team-munkában kapott kutatási eredményeiből még jó néhányat említhetnék (a búza és a kukorica tápanyagforgalmának vizsgálata; a műtrágyázás hatása más tápelemek felvételére; a műtrágyázás és a növényi rezisztencia összefüggései; a műtrágyázás hatása a talaj egyes fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságaira; a feltöltő PK trágyázás hatékonyságának összehasonlító vizsgálata; a növényanalízis alkalmazhatóságának vizsgálata a talaj tápanyag-ellátottságának megítélésében stb.).

Kádár Imre munkásságát egyébként a szakmabeliek a tárgykörben megjelent közel félszáz tanulmányából, továbbá különböző hazai és külföldi rendezvényeken tartott előadásából is jól ismerik. Kandidátusi értekezésében az agrokémia szinte minden fontos kérdését érintő kutatómunkájának eredményeit foglalta össze.

A kísérletei, vizsgálatai során alkalmazott kutatási módszerei korszerűek, társszerzőként része van a talaj foszforfrakciói vizsgálati metodikájának a továbbfejlesztésében is.

A sok pozitívum mellett kifogásként csak alaki hibákat tudnék felsorolni. Ilyenek:

-Nyilván azért, hogy az előírt maximális terjedelmet legalábbis formálisan ne lépje túl, a disszertációban egyes részeket (Előszó, Összefoglalás) római számokkal jelölt, vagy oldalszámmal egyáltalán nem látott el (táblázatok ábrák, irodalomjegyzék, függelék).

-A Jelölt stílusa világos, érthető és lendületes. Sok viszont az értekezés szövegében a feltehetően gépelésből eredő íráshiba. Ezeket ki kellett volna javítani.

-Nem tartom szerencsésnek a szabadföldi kísérletekről szóló fejezetben a kódszám szerinti címeket, elnevezéseket. Biztosan lehetett volna ezek helyett a lényegyet jobban kifejező címeket találni.

Ezektől a formai kifogásoktól eltekintve így ítélem meg, hogy Kádár Imre kandidátusi értekezése mind elméleti, mind gyakorlati szempontból igen értékes, előremutató munka, s kielégíti mindazokat a követelményeket, amelyek egy kandidátusi disszertációval szemben támaszthatók. Javasolom az értekezés nyilvános vitára

bocsátását és sikeres védelem esetén a Jelöltnek „a mezőgazdasági tudományok kandidátusa” tudományos fokozat odaítélését.

Kérem a Jelöltet, hogy a vita során a következő kérdésekre adjon választ:

1. Saját kutatási eredményei alapján milyen mennyiségi és minőségi fejlesztést tart indokoltnak az elkövetkező két évtizedben a hazai műtrágya felhasználást illetően?
2. Milyen módszereket javasol a látens mikroelemhiány felismerésére; továbbá indokoltnak tartaná-e – a foszforhoz és a káliumhoz hasonlóan – mikroelemekkel is növelni a talajok tápanyagszintjét?
3. A tápanyaghatáson kívül tulajdonít-e jelentőséget a szerves trágyázásnak a talajok termékenységének növelésében?

Gödöllő, 1980. március 14.

Pecznik János s.k.
a mg. tudományok doktora s.k.

Válasz Dr. Pecznik János opponensi véleményére

File: valasz4

Dr. Pecznik János professzornak, a mezőgazdasági tudományok doktorának opponensi véleményére

Előljáróban szeretném megköszönni opponensemnek, hogy elvállalta értekezésem bírálatát és annak témáját időszerűnek, a hazai növénytermesztés szempontjából fontosnak találta. Pecznik professzornak korábban, disszertációm házi védelésén tett észrevételei nagy segítséget nyújtottak ahhoz, hogy értekezésemet és a téziseket a jelenlegi formában összeállíthattam. Ennek köszönhető, hogy lényeges hibát, alapvető téves megállapítást nem talált a munkámban.

Bírálóm megjegyzi, hogy disszertációmiban egyes részeket (Előszó, Összefoglalás) római számokkal jelöltem, illetve a táblázatokat, ábrákat és a tulajdonképpeni függelékben közölt anyagokat oldalszámmal nem láttam el. Valóban így történt. Mentségemül szolgáljon, hogy ezzel részben az értekezésem olvasását szerettem volna megkönnyíteni, amennyiben a fontosabb táblázatokat és az ábrákat nem hagytam a függelékben, hanem a szöveges értelmezés mellé helyeztem el. Disszertációm szövegében előforduló hibák egy részét (elütések, gépelésből eredők) talán azért nem sikerült maradéktalanul kijavítanom, mert nem voltak kifejezetten értelemzavarók és így nehezen észrevehetőek maradtak számomra. A közérthetőséget zavaró esetleges hibákért kérem utólagos elnézését opponensemnek, az anyag további közlése során a hiányosságok teljes kiküszöbölésére fogok törekedni.

Jogos bírálóm észrevétele a szabadföldi kísérletek bemutatásával kapcsolatosan is, ami a belső kísérleti kódszámokat, témalap szerinti elnevezéseket illeti. Valóban

lehetett volna ezek helyett a lényegét jobban kifejező címeket találni. A tézisek összeállításánál már igyekeztem ilyen módon eljárni, kísérleteink főbb eredményeit a tartalmat tükröző címekkel közölni, pl. „Talajkémiai vizsgálatok eredményei”, „Az egyszeri P-trágyázás hatása mészlepedékes csernozjomon”, stb.

Opponensem által feltett kérdésekre válaszaimat az alábbiakban kísérlem meg megadni. Az első kérdés a hazai műtrágya felhasználás jövőjére, az előttünk álló két évtized mennyiségi és minőségi fejlesztésére vonatkozott. A műtrágyaigény a földművelés egészének, a gazdálkodás módjának is következménye, éppen ezért nem könnyű annak becslése. Disszertációmiban az országos műtrágyaszükséglet megállapításának módszertanával foglalkoztam, a műtrágyaigényt befolyásoló tényezőket elemeztem. Ha arra a kérdésre keresünk választ, hogyan alakulhat műtrágya felhasználásunk pl. 2000-ben, abból kell kiindulnunk, hogyan fogunk gazdálkodni 2000-ben? Termelésirányító szerveink a távlati tervekben azzal számolnak, hogy a mezőgazdaság és azon belül a növénytermesztés hozamai a századunk végéig, a 70-es évek közepéhez viszonyítva, megduplázhatók. Földművelésünk ásványi tápelemigénye, a termésekkel felvett tápelemek mennyisége is tehát közel duplájára nőhet 2000-ig, ez kb. 2.5 millió tonna összes NPK hatóanyagot jelenthet országosan (lásd pl. DEBRECZENI BÉLA becsléseit!).

Jelenleg, pontosabban a 70-es évek közepén 1.2-1.3 millió tonnára becsülhetjük földművelésünk tápelemigényét, tehát a terméseinkkel felvett összes NPK hatóanyag mennyiségét. A különböző tápanyagforrások (istállótrágya, műtrágya, melléktermékek leszántása) útján mintegy 1.8-2.0 millió tonna hatóanyagot juttattunk vissza a talajba, azaz a trágyafelhasználásunk 40-60%-kal meghaladta a terméssel felvett NPK mennyiségeit. Ha a jelenlegi gazdálkodási viszonyainkat változatlanak tekintjük és kb. 2.5 millió tonna terméssel felvett hatóanyaggal számolunk, akkor mintegy 3 millió tonna műtrágya eredetű NPK igény jelentkezhet 2000-ben. A műtrágya felhasználás ugyanis önmagában közel 20%-kal haladja meg napjainkban a termésekkel felvett tápelemek mennyiségét.

A műtrágyaigény nem más, mint a gazdálkodás adott típusa által indukált tápelemhiány, melyet külső forrásokból kell fedeznünk és az üzem körforgásába kell juttatnunk az ott fellépő veszteségek pótlására és a talaj – trágya – növény tápanyagforgalmának esetleges növekedésére, bővített újratermelésére. Ismétlem, a műtrágyák alapvetően a hiányt pótolják. Amennyiben a rét-legelő gazdálkodás súlya és szerepe nőne a jövőben, ez csökkentené a műtrágyák iránti igényt. Hasonlóképpen amennyiben a tápelemforgalom zártabbá válik mezőgazdaságunkban, csökken a növénytermesztés termékeinek közvetlen exportja, illetve nőni fog az élelmiszeripari termékek kivitele (konzerv-, hús-, malom-, szeszipar) és az élelmiszeripari feldolgozás melléktermékei mint tápanyagforrások a jövő technológiájában teljes mértékben a talajt gazdagítják, a műtrágyaigény csökkenni fog. A növénytermesztés hozamainak megkésztetése tehát nem szükségszerűen jelenti a jelenlegi műtrágya felhasználás megkésztetését, nagymértvű növelését, 2 millió tonna műtrágya eredetű NPK is elégséges lehet 2000-ben. Sőt elvileg (gyakorlatilag ez irreálisnak tűnik ugyan, mert a korábban említett zártabb technológiák rendkívül tőkeigényesek lesznek, szerkezeti átalakulást feltételeznek a termelésben) a jelenlegi felhasználás szintjén is jelentősen növelhetők a termések.

A tápelemigény és a trágyaigény nem fog olyan erősen szétválni a jövőben mint napjainkban, a 40-60%-os túltrágyázás visszaszorulhat. A pozitív tápanyag-mérleg eredményeképpen csökken ugyanis a tápanyagokkal gyengébben ellátott talajok száma, a tápanyagokkal kielégítően ellátott talajokon már a fenntartó trágyázással, a termésekkel felvett tápelemek többé-kevésbé egyszerű visszapótlásával is megelégszünk. Ez a tényező műtrágyaigényünket csökkentheti majd a jelenlegi erős túltrágyázásra való törekvés veszteségmentes műtrágya-tárolás, raktározás, forgalmazás is, amely gyakran 10-20%-ot elérő veszteségeket okozott. Továbbá igen jelentős műtrágyaigény csökkentő tényező lehet az egységes szaktanácsadási rendszerben a tudományos igényű talaj- és növényvizsgálatokra épülő műtrágyaigény-bebecslésben, a szakszerűségben rejlő lehetőségek kiaknázása.

Bírálóm másik kérdése a látens mikroelem-hiányok felismerésére javasolható módszerekre vonatkozott, indokolt lehet-e a P és K elemekhez hasonlóan mikroelemekkel növelni a talajok tápanyagszintjét? Újabban egyre több kísérleti adat és üzemi tapasztalat arra utal, hogy az intenzív NPK műtrágyázás komolyan veszélyeztetheti a talaj termékenységét egyes talajok elsavanyodásához vezethet, zavarokat okozhat a termesztési szempontból fontosabb mikroelemek felvételében, ionantagonizmuson és szinergizmuson keresztül. A jelenlegi talajvizsgáló módszereink ezeket a részben a talajban, részben növényben lejátszódó kölcsönhatásokat nem képesek kellően figyelembe venni. Az eddigi saját, valamint a gazdag nemzetközi szakirodalmi tapasztalatok alapján arra a következtetésre juthatunk, hogy a növényanalízis módszere alkalmas lehet a kiegyensúlyozott tápláltság kontrolljában, a látens mikroelem-hiányok felismerésében és közvetlenül is felhasználható adatokat szolgáltathat a szaktanácsadás számára.

A növényelemzés optimumai, az optimális tápelemtartalom és tápelemarányok növényfajra jellemzők, viszonylagos állandóságot mutatnak. Esetenként indokolt lehet a P és K elemekhez hasonlóan a talaj mikroelem szintjét is növelni. Így pl. meszes csernozjom talajon, ahol a talaj- és növényvizsgáló adataink szerint a felvehető Zn tartalom alacsony volt, a talaj EDTA-oldható Zn-tartalmát 2 körüli ppm értékről 4.6, illetve 7.0 ppm értékre növeltük a hektáronkénti 20 illetve 40 kg·ha⁻¹ Zn trágyázással. A talaj Zn tartalmának növelése a fiatal kukorica Zn felvételében is tükröződött, a Zn-felvétel javult. Ma még nincs azonban országosan elegendő vizsgálati adatunk ahhoz, hogy a gyakorlatnak konkrét javaslatokat tehetnénk az egyes talajok mikroelem-ellátottságának növelésére, meddig célszerű, milyen módon, milyen formában emelni a talaj ellátottságát.

A P és K elemektől eltérő szemléletet is hangsúlyoznunk kell azonban a talaj esetleges mikroelem-ellátottsági szintjének növelésében. A tápanyag-mérleg elve a mikroelem trágyázásban kevésbé alkalmazható. A terméssel felvett 0,4-0,5 kg hektáronkénti Zn mennyiséggel szemben pl. 4-5, esetleg 20-40 kg·ha⁻¹ Zn trágyázást is javasolnak, nagyságrendi különbség állhat fenn tehát a tápelemigény és trágyaigény között a mikroelemek terén. Igaz, hogy ilyen eljárásnál hasonlóképpen utóhatásokkal számolnak, 5-10 évenkénti trágyázást tartva szem előtt. A talajtrágyázásnak, különösen a nagyobb adagok alkalmazásánál, veszélyei is lehetnek. Az időjárástól függően megváltozhat a mikroelem felvehetősége, oldhatósági viszonya a talajban és esetenként mérgezéshez, termés-csökkenéshez vezethet a talajba juttatott nagyobb mikroelem mennyiség. Talajonként és növényenként kell megismernünk a jövőben

azokat a lehetőségeket, tartamkísérletekben, amelyek talajaink mikroelemekkel való ellátottságának növelésében rejlenek, feltárva az esetleges negatív hatásokat is.

A tápanyaghatáson kívül mekkora jelentőséget tulajdoníthatunk a szerves trágyázásnak a talajok termékenységének növelésében? Erre a kérdésre az agrokémia és a termesztés régóta próbál válaszolni. A trágyázástani kutatások történetének egyik fontos fejezete az istállótrágyázás és a műtrágyázás kölcsönhatásának vizsgálata. A termesztés színvonalának és a technikai adottságoknak függvényében e két, jellegében és hatásában eltérő trágyaféleség fontossága más és más volt. Rotini (in: Krámer 1980) a talaj szerves anyagáról 1976-ban tartott szimpóziumon három történelmi korszakot különböztetett meg: Liebig előtti korszak, amikor a szerves anyagok a növények tényleges és egyetlen tápanyagforrása a talajon kívül; Liebig-i korszak, ekkor az egyre fokozódó műtrágya felhasználás a világ iparilag fejlett országaiban a szerves trágyák sokoldalú jelentőségét háttérbe szorította, és napjaink szerves + ásványi trágyázásának korszaka, amikor a szerves trágyák már nem elsősorban növényi tápanyagforrások, hanem a talaj termékenységének kémiai, fizikai és biológiai szempontból egyaránt fontos megalapozói.

Az említett szimpózium is többen beszámoltak olyan kísérletekről, amelyekben igazolták, hogy a szerves anyagok javították a talajok szerkezetét, vízgazdálkodását és biológiai tevékenységét. Sajnos ezek az adatok többnyire modellkísérletekből származtak és csak néhányan, ha nem is számszerűen és gyakoriság alapján bizonyították, hogy az ilyen mutatók javulása valóban terméstudbbletekkel jár együtt. A világszerte folyó szabadföldi tartamkísérletekben úgy találták (Anglia, Franciaország, Dánia, NDK, NSZK, SZU stb.), hogy a szerves trágyák termést növelő hatása a tápanyag-tartalmuknak köszönhető. Így a megfelelő szintű műtrágyázással istállótrágyázás nélkül is elérték a maximális terméseket. Csupán az utóbbi években észlelték egyes helyeken, így pl. Rothamstedben, hogy az igen magas termések eléréséhez, mint 5-6 t/ha feletti búza szemtermésekhez, istállótrágyázásra is szükség volt.

Szerves trágyákkal kísérleteket nem végeztem. Regionális szinten Ausztriában tápanyagforgalmi vizsgálatok során tapasztaltam azonban, hogy amennyiben a tápanyagok szerves trágya formájában kerültek vissza a talajba, a trágyaigény NPK-ban kifejezve határozottan csökkent. A kevés szerves trágyát használó üzemekben a műtrágyaigény nem arányosan (szerves trágyában foglalt NPK arányában), hanem hatványozottan növekedett. Megemlíteném a hazai talajokon beállított szabadföldi kísérleteink eredményeit, sajnos mindössze 5 talajon folytak, melyekben a feltöltő P és K műtrágya a talaj könnyen oldható P és részben K-tartalmát ott növelte jelentősebben, illetve az L-módszerrel kimutatott csökkenés, a lekötődés mértéke ott volt a legkisebb (mészlepedékes csernozjom), ahol a talaj humusztartalma a legnagyobb volt. A talaj szervesanyag-gazdagsága – megfigyeléseim szerint – elősegítheti a műtrágyák jobb érvényesülését, lassítja degradációjukat. A cellulózbontó aktivitás a termékenység egyik jellemzője és ez a mutató a szerves anyagban gazdagabb talajon volt a legnagyobb, lucerna elővetemény után, csernozjomon, ahol a talaj-mikroszervezetek tevékenysége a tápanyagok körforgalmát, konzerválását elősegítette, lekötődésüket csökkentette.

Az istállótrágya felhasználása népgazdasági szempontból mindenképpen kívánatos. A természetett növények tápanyag-tartalmának Láng Géza szerint 1958-ban mintegy 2/3-a került a gazdaságokban keletkező hulladékokba, elsősorban az istállótrágyába. A különböző veszteségek folytán ennek 50-60%-a jutott vissza a talajba. A szerves trágyák jelentőségét lebecsülő közfelfogás miatt a veszteségek ma sem lehetnek sokkal kisebbek. Ma már a műtrágyázás jelentősége nem vitatható, azonban a tápanyagok biológiai körforgása nagy energia- és anyagráfordítással bevitt készletek, műtrágya eredetű NPK megóvása érdekében szükséges a szerves hulladékok minél gondosabb kezelése, visszajuttatásuk a talajba. A rendszeresen istállótrágyázott terület részaránya hazánkban igen kevés, mindössze évi 10-20%. A rendszeres istállótrágyázás elejét veszi a mikroelem-hiányoknak, mert jelentős mennyiségű mikroelemet tartalmaz a növényi szükségletnek megfelelő arányban. Az a körülmény, hogy Nyugat-Európa országaiban mindig intenzíven istállótrágyáztak, magyarázatot szolgáltat arra, hogy ott kisebb mértékben jelentkeznek mikroelem-hiányok, mint a tengerentúli országokban (USA egyes vidékei) vagy hazánkban. Különösen élesen jelentkezhetnek a problémák a jövőben, monokultúrás viszonyaink között növényi betegségek további erőteljesebb fellépését elősegítve. Szervestrágyázással ilyenképpen megakadályozhatók az esetleges termésnövekedések, növelhetők az egyoldalú műtrágyázás, NPK hatásai.

Befejezésül még egyszer legyen szabad megköszönnöm bírálómnak, dr. Pecznik János professzornak, a mezőgazdasági tudományok doktorának opponensi véleményét és értékelését. Külön örömet jelentett számomra, hogy az országos műtrágyaigény becslése terén végzett munkámat pozitívan értékelte. Pecznik professzor elismert tekintély e témában, aki maga is aktívan részt vállalt a hazai műtrágyaigény felmérésében.

Budapest, 1980. március 31.

Kádár Imre s.k.
tudományos munkatárs

SZEMELVÉNYEK AZ AGROKÉMIAI ÉS NÖVÉNYTÁPLÁLÁSI OSZTÁLY KUTATÁSAIBÓL

Műhelymunka 1974-2009

Előzmények

A Magyar Köztársaság kormányának 4.044/1949.sz. rendelete intézkedik az Agrokémiai Intézet létesítéséről, mely szerint „A növénytermesztés agrokémiai megalapozásának biztosítására és az agrokémiai kutatóállomások munkájának egységes irányítására Agrokémiai Intézetet kell létesíteni...Végrehajtásáról a földművelésügyi miniszter gondoskodik.”

Az Agrokémiai Intézet a 8.062/1949. F.M. rendelettel alakul meg, majd a 28/955. F.M. utasítással a Magyar Tudományos Akadémia felügyelete alá kerül. A 2008-ban módosításokkal egységes szerkezetbe foglalt alapító okirat alapján az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet köztestületi költségvetési szerv, önállóan gazdálkodó, önálló jogi személy, mely talajtani, agrokémiai és talajbiológiai alapkutatásokat végez, szakterületén oktatási és ismeretterjesztési tevékenységet, kísérleti telepein termelési tevékenységet folytat.

Az Intézet tevékenységének első negyedszázadáról az 1974-ben megjelent „A Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetének 25 éve” című kiadvány számolt be. Sarkadi János, a Trágyázástani Osztály vezetője az Osztály kutatási eredményeit az alábbi témák köré csoportosította:

- A szerves és műtrágyaformák hatásának vizsgálata
- A trágyázást, a talajtermékenységet befolyásoló talajtulajdonságok vizsgálata
- A műtrágyaigény becslési módszereinek kidolgozása

Az itt említett kutatási témák örökzöld jellegét bizonyítja, hogy ez a kutató munka szakadatlanul folyik az Agrokémiai és Növény táplálási Osztályon. A tematika persze részben kibővült, új feladatok jelentkeztek, de az elmélyült kutatómunka alapját ma is a jól megtervezett és kézben tartott szabadföldi tartamkísérletek képezik. Ezúton az Agrokémiai és Növény táplálási Osztály utóbbi 35 évének főbb kutatási eredményeit adjuk közre. Az első fejezetet Sarkadi János 1999-ben, a második részt Kádár Imre 2009-ben állította össze. Az Intézet az első 25. évi kiadványhoz hasonló összefoglalót tervezett az 50 éves évfordulóra, beszámolva a második 25 év főbb eredményeiről. Végül az utóbbi kiadványra nem került sor, a beszámolókat azonban elkészültek. Sarkadi János beszámolóját változatlan formában adjuk közre. A két beszámolóban előfordulhatnak kisebb átfedések a munka természetéből adódóan. A „történeti hűség” kedvéért azonban

ennyi talán megengedhető és elfogadható. Az Intézet 60 éves jubileumára egyébként egy rövid kiadvány, tájékoztató készül bemutatva a kutatások jelenlegi helyzetét.

Sarkadi János

Szerves és műtrágyák hatása a talaj termékenységére

A pontosan nehezen meghatározható, relatív fogalmat jelentő talajtermékenység többféleképp is mérhető. Leggyakrabban a talajon termett növényekkel, természetesen növények esetében azok termésátlagával, illetve egy bizonyos termés eléréséhez szükséges befektetés nagyságával becsülhetjük. Ugyancsak a növényekkel kell kalibrálni a talajtulajdonságokat, jellemzi kémiai és biológiai vizsgálati adatokat. A növények termése azonban közismerten nemcsak a talajtulajdonságtól, hanem többek között a növény fajtától, fajtájától, az időjárástól és számos egyéb tényezőtől függ. Többé - kevésbé reális eredményekre csak hosszabb ideig tartó megfigyelésekből, szabatos tartamkísérletekből számíthatunk. Különösen igaz ez a szerves trágyák, valamint a viszonylag lassú hatású műtrágyák, mint pl. a foszfátrágyák hatásának kutatása során.

Az istállótrágya és az azonos hatóanyag-tartalmú műtrágyák termésnövelő hatásai

Az '50-es években a hazai agronómiai gyakorlat és kutatás egyik fontos kérdése volt a szerves trágyák szerepének, nélkülözhetetlenségének megítélése. A martonvásári erdőmaradványos csernozjom karbonátos és feltalajában karbonát-mentes változatain, 1955 őszén megkezdett kísérleteinkben igyekeztünk különböző könnyen és nehezen bomló szerves anyagok tápanyag-szolgáltató és egyéb kedvezőnek tartott fizikai és biológiai hatásait megítélni illetve szétválasztani. A szerves trágyák tápanyag-szolgáltatását azonos hatóanyag tartalmú szervesetlen trágyák termés- illetve tápelem-felvételt növelő hatásával becsüljük. A kísérletekben arra a gyakorlati kérdésre is választ kerestünk, hogy a talaj termékenységét istállótrágyázás nélkül is fenn lehet-e tartani. A pillangósok szerkezetjavító, részben istállótrágyát pótló hatásának kiküszöbölésére az első ciklusokban alkalmazott norfolki jellegű vetésforgók helyett kukorica-búza dikultúrában vizsgáltuk a trágyahatásokat. Az istállótrágyákat az intenzív gazdaságokban szokásos módon 4 évenként, átlag 40 t/ha adagban, míg a műtrágyákat (pétisó illetve ammóniumnitrát, szuperfoszfát, kálisó) évenként elosztva juttattuk a talajba.

Az istállótrágya és a műtrágyák termésnövelő hatása az első két évben azonosnak bizonyult. A csak istállótrágyázott parcellákon a trágya alászántása utáni 3. és 4. évben természetesen búza termése már igazolhatóan kisebb volt az évente műtrágyázottakénál. Az is igaz azonban, hogy a rendszeresen alkalmazott istállótrágya 3. és 4. évi utóhatása még mindig jelentősnek, több mint 30%-osnak bizonyult. A terméseredményekhez hasonlóan alakultak a minőségükre bizonyos mértékig jellemző nyersfehérje tartalmak is.

Az istállótrágya műtrágya-egyenértéke

A fő- és melléktermékek tápelem-tartalmának elemzése révén a növények tápelem-felvételét, a trágya-hatóanyagok érvényesülését is vizsgálhattuk. A valódi érvényesülést és hasznosulást - eltekintve a mintavételi és elemzési hibáktól - sajnos nem ismerjük. Feltételezzük ugyanis, hogy a trágyázott és trágyázatlan talaj tápelem-szolgáltatása azonos, tehát a trágyázott növényeknek a kontrollhoz viszonyított többlet tápelem-felvétele a trágyából származik. Ez a felvétel azonban gyakran nem teljesül, ezért az ily módon számított érvényesülést sokan idézőjelbe teszik, vagy látszólagos hasznosulásnak nevezik.

A tápelem-hasznosulás elvi, módszertani problémái ellenére a gyakorlat részére arra a kérdésre kell választ keresni, hogy a trágyázási tervek készítésekor milyen mértékben vegyük figyelembe az istállótrágya tápelem-szolgáltatását, műtrágya-egyenértékét. Ez közismerten számos tényezőtől, mint pl. az istállótrágya minőségétől, alkalmazásának gyakoriságától, a természetett növényektől, a talaj- és éghajlati viszonyoktól stb. függ. Általában az istállótrágya-N műtrágya egyenértékét 50% körülnek szokás becsülni. A martonvásári kísérletek átlagában ez az érték több mint 60%-nak adódott. A szerves és szervesetlen trágyák P és K érvényesülése közel azonos volt, az irodalmi adatok többségével egyezően, tehát 100-nak tekinthető.

E csernozjom jellegű talajokra jellemző, hogy termékenységük az eltelt évtizedekben nem csökkent, sőt feltehetően az egyre intenzívebb hibridek, illetve fajták termesztés révén a kontroll parcellákról betakarított termékek kis mértékben még növekedtek is. Az újabb, intenzívebb hibrideknek és fajtáknak nemcsak termése, hanem %-os tápelem-tartalma is nagyobb volt az 50-es és 60-as években termesztettekéénél. A tápelem-hasznosulások növekedéséhez hozzájárult a talajban maradt tápelemek felhalmozódása is. Különösen a szerves trágyák hasznosulása fokozódott. Az első ciklusban 30% körülire becsült istállótrágya-N műtrágya egyenértéke a 70-es évekre már megduplázódott. A későbbiekben már egyensúlyi viszonyok alakultak ki, az előzőekben említett mintegy 60%-os N-műtrágya egyenérték nem változott.

Az istállótrágya összetétele közismerten tág határok között változhat. A kísérleteinkben szereplő félérett szarvasmarha trágyák N tartalma 0,5-1,1% között ingadozott, átlag 0,7% volt. A 70-es és 80-as években végzett egyéb hazai vizsgálatokból is kiténik, hogy az intenzíven takarmányozott állatok jól kezelt trágyája lényegesen több N-t, valamint P-t és K-t tartalmaz a régebben elemzettekénél. Míg régebben 10 t, átlag 0,5 % N-tartalmú istállótrágya műtrágya egyenértékét 25 kg-ra becsültük, ez az érték 0,7% összes N tartalommal és 60%-os egyenértékkel számolva a 40 kg-ot is elérheti. Ugyancsak növekedett az istállótrágyák P és K tartalma is. A régebbi 0,25% P₂O₅ illetve 0,6% K₂O-nál lényegesen többet, átlag 0,4% P₂O₅-ot, illetve 1% K₂O-t találtunk a vizsgált istállótrágyákban. Jó minőségű, rendszeres istállótrágyázáskor 10 tonnánként, tehát mintegy 40 kg P₂O₅-dal illetve 80-100 kg K₂O-dal csökkenthető a P és K műtrágyaigény. (Sajnos lehet, hogy a '90-es évek közepétől újra a kisebb értékekkel számolhat a gyakorlat).

Az istállótrágya tápelem-tartalmához hasonlóan a szolgáltatásuk ideje, menete is sok tényezőtől függ. Általában elfogadott, hogy laza talajokon gyakorlatilag 2-3 évig, kötött talajokon pedig 4-5 évig vagy még tovább számíthatunk az utóhatásokra. Kísérleti viszonyaink között a középkötött, csernozjom jellegű talajokon legalább 4 évig kimutatható volt az istállótrágyák tápelem-szolgáltatása. Megoszlásuk természetesen

nagymértékben függött az időjárástól, átlagosan 40-28-17-16%-nak bizonyult. A gyakorlatban nem sokat tévedünk azonban, ha a közismert 40-30-20-10% megoszlással számolunk.

Az istállótrágya és a műtrágyák kölcsönhatásai

Az agronómiai elmélet és gyakorlat két kérdésre keres választ. Befolyásolják-e a műtrágyák az istállótrágya hatékonyságát és az istállótrágyázás módosítja-e a műtrágya-hatásokat? Az istállótrágyázás és a szakszerű műtrágyázás között pozitív kölcsönhatás nem volt kimutatható. Az itt nem részletezett talaj- és növényvizsgálataink szerint is megállapítható, hogy ezen a csernozjom jellegű középkötött vályogtalajon az istállótrágyának elsősorban tápelem-szolgáltató, főleg P- és K-szolgáltató szerepe érvényesült.

Közismert, hogy egyes szerzők szerint a szerves-trágyázás elsősorban a P-műtrágyák hatását fokozza. Ezért 1975-ben a P-hatások és utóhatások vizsgálata érdekében a kezeléseket átalakítottuk. A 16 éve P-ral nem trágyázott, szántott rétegében átlag 40 ppm AL-P₂O₅-ot tartalmazó NK parcellákon istállótrágya nélkül és istállótrágyával együtt adott szuperfoszfát hatásait vizsgálhattuk. Ezen új NPK kezeléseket a régi 0-kontrollokra adott NK műtrágyákhoz viszonyítottuk. A P-utóhatások mérésére a régi NPK parcellákon a P-adagolást megszüntettük és csak az NK műtrágyázást folytattuk.

Az 1975-94 időszak átlagában a szuperfoszfát szerves-trágyázás nélkül kereken 30%-kal növelte a szemterméseket. A P-hatást az istállótrágyázás nem fokozta. Az első 16 évben tapasztaltakhoz hasonlóan az istállótrágyázott és az NPK műtrágyázott parcellákon a kukorica- és búzatermések átlagai azonosak voltak. Jelentős volt a 20 év átlagában a szuperfoszfát csaknem 25%-os utóhatása. Sőt az átalakítás utáni 1975-78-as időszakban az elvileg 400 kg·ha⁻¹ talajban maradt P₂O₅ utóhatása - más helyeken tapasztaltakkal egyezően - igazolhatóan nagyobb volt az évente adott 80 kg·ha⁻¹ P₂O₅ termésmenvelő hatásánál. A P-utóhatások természetesen az évek folyamán fokozatosan csökkentek, és az 1991-94. évek átlagában már kisebb volt a minden évben adott P hatásánál.

Kísérleti és vizsgálati eredményeinket összefoglalva megállapítható, hogy a kedvező fizikai tulajdonságú, 2-3% humuszt tartalmazó talajokon istállótrágyázás nélkül, csak műtrágyázással is fenntartható illetve növelhető a talaj termékenysége. A természetett növények tarló- és gyökérmaradványai is biztosítják a talajélethez szükséges szerves anyagot. Az istállótrágyázás és a "teljes" (NPK) műtrágyázás között pozitív kölcsönhatás ugyan nem volt kimutatható, de a szerves-trágyázással természetesen csökkenthető a műtrágyaigény. A takarmányozás és a trágyakezelés minőségétől függően 10 t istállótrágya tápelem-szolgáltatását 3-5 év alatt 30-40 kg N, 30-40 kg P₂O₅ és 80-100 kg K₂O-nak becsülhetjük.

A műtrágyaigény-becslési módszerek továbbfejlesztése

Műtrágyaigény alatt általában egy-egy növény esetleg vetésforgó vagy termelési egység (tábla, üzem, táj, ország) meghatározott időszakban tervezett termésszintjének eléréséhez szükséges hatóanyagokat értjük. Beleértve azt a minőségi igényt is, hogy

ezeket a környezeti viszonyoknak megfelelő formában, minőségben, a leghatékonyabb módon használjuk fel.

Az utóbbi évtizedekben mind külföldön, mind hazánkban több számítógépes "tudományos" szaktanácsadási modell terjedt el. Ezek értéke, használhatósága az illető termelési egységben szerzett szabatos kísérleti eredmények, tapasztalatok megbízhatóságától függ. Még a legbiztosabbnak vélt "számítási módszer" is csak becslésnek tekinthető, hisz a várható termést és a trágyahatásokat több, előre nem ismert tényező, legfőképp az időjárás befolyásolja. A trágyaigény becslését elősegíti a növények tápelem-igényének ismerete. E két fogalmat néha azonos értelemben használják, pedig célszerű ezeket megkülönböztetni egymástól. A trágyaigény ugyanis a természetes forrásokból rendelkezésre álló tápelemekről és a műtrágyák érvényesüléséről függően kisebb és nagyobb is lehet, mint a tápelem-igény.

A különböző növények térben és időben változó tápelem-igényét sem ismerjük pontosan, de gyakorlatilag jól becsülhetjük fajlagos tápelem-tartalmukkal, azaz az egységnyi főtermés és a hozzá tartozó melléktermés tápelem-tartalmának összegével. Régóta ismeretes, hogy a növények összetétele a genetikai tulajdonságoktól és a környezeti viszonyoktól függően többé-kevésbé változó lehet. Az irodalmi adatokból, valamint az intézetünkben végzett több-ezer növényanalízisből azonban megállapíthatók bizonyos törvényszerűségek. Így pl. már a múlt század második felében Bajorországtól az Urálig terjedő vizsgálatokból kitűnt, hogy a humid klímában termelt búza N-koncentrációja lényegesen kisebb, mint a keleti arid övezetekben termetteké. Ezt a tendenciát - sokkal kisebb mértékben ugyan - a nyugat- és kelet magyarországi tájakról származó minták elemzése is igazolják.

Változik a növények tápelem-tartalma a nemesítés fejlődésével is. Kimutattuk pl., hogy az újabb, intenzívebb kukorica-hibridek és búzafajták fajlagos tápelem-felvétele nagyobb a régebbi fajtáknál. Ugyanakkor a szűkebb fő- és melléktermés arányú fajták fajlagos tápelem-, főleg K-tartalma csökkent. A fenti törvényszerűségek ismeretében a saját, valamint a világirodalomban található elemzések kritikai értékelése alapján fokozatosan korszerűsítettük a gazdasági növényeink átlagos tápelem-igényének becslésére javasolt táblázatokat.

A fajlagos tápelem-tartalmak ismerete a korszerű trágyázási rendszerek kialakításához szükséges tápelem-mérlegek készítésekor is nélkülözhetetlen. A mérlegek bevétel és kiadás oldalainak megítélésére többféle módszer is ismeretes. Intézetünkben kialakult eljárás során egy-egy termelési egység mérlegében szereplő forrásokat a felhasznált szerves- és műtrágyák, a talajba került növényi melléktermékek tápelem-tartalma alapján ítéltük meg. Ezekon kívül a levegőből és a csapadékból származó N mennyiségét is megbecsültük. A mérleg veszteség oldalán a betakarított főtermékek mennyiségével beszorzott fajlagos tápelemek szerepeltek.

A KSH adatai alapján becsült országos tápelem-mérlegek alakulásából megállapítható, hogy talajaink NPK mérlege az 1960-as évekig negatív volt, országos átlagban rablógazdálkodás folyt. A mezőgazdasági terület P mérlege 1960-tól, a K-é 1970-tól kezdett pozitívvá válni. A N-mérleg becslése már bizonytalanabb, de valószínű, hogy az 1960-65-ös évektől kezdve a N-források is felülmúlták a N-veszteségeket. Az 1970-es évek elejétől már kétszerannyi P került országos átlagban a talajba, mint amennyit a növények kivontak. Becslésünk szerint az 1990-es évek végére országos átlagban mintegy $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ maradt a művelt területeink talajában.

Az országos tápelem-mérlegeink alapján több ízben készítettünk a kormányzat részére a műtrágyagyártás fejlesztésére és felhasználására szolgáló prognózisokat. A hivatalos szervek, intézmények az '50-es - '60-as években legtöbbször sokallták, a '70-es '80-as években pedig kevesellték az országos műtrágya-igényre vonatkozó, a maximalista tervekénél jóval kisebb, később reálisabbnak bizonyult becsléseinket. (Sajnos a műtrágyák minőségére vonatkozó javaslataink kevésbé teljesültek.)

A tápelem-mérlegek nemcsak az országos műtrágyaigény tervezését segítik elő, hanem az egyes táblák trágyázási szaktanácsadása során is célszerű a mérleg alakulását figyelembe venni. Az országos mérlegből számított, talajban maradt tápelemek területi eloszlása ugyanis nem volt és ma sem egyenletes. A kevés trágyát használó, gyenge gazdaságokban akár negatív is lehetett a mérleg egyenlege. Az intenzív üzemek erősen trágyázott táblái viszont az országos átlagnál is jóval gazdagabbak lehettek. A '80-as években megítélésünk szerint meglehetősen sok ilyen tábla volt az országban és ezeken folyamatosan túlzott volt a műtrágyázás. Szabadföldi kísérleteink szerint a karbonátos csernozjomok P-gazdag parcelláin a további túlzott P-trágyázás a P-Zn antagonizmus miatt egyes növények, mint pl. a kukorica termését jelentősen csökkentette. A nem szakszerű, intenzív N-műtrágyázás a vizek nitrásodása miatt okozott környezetszennyezést. A szakszerű műtrágyázás azonban egyes "zöld" véleményekkel ellentétben nem okoz környezetszennyezést.

A '90-es években újra negatívvá vált az ország tápelem-, főleg a P és K mérlege. A gondosan vezetett, a valóságnak megfelelő táblatorzskönyvekből viszonylag jól becsülhető az utóbbi 10-15 év mérlegének egyenlege. Ahol a becslés szerint a régen intenzíven trágyázott táblákon még mindig pozitív a P vagy K mérleg, ott egy ideig szüneteltethető a P ill. K műtrágyázás. Sok helyen azonban nem, vagy csak nagyon bizonytalanul lehet a terméseket és a trágyaadagokat visszamenőleg hosszú ideig nyomon követni. Egyébként is a talajban maradt tápelemek felvehetősége nagy mértékben függ a talajtulajdonságoktól és az időjárástól. Ezért a szakszerű trágyázási szaktanácsadás során a talaj tápelem-ellátottságát szabatosabb módszerekkel, talaj- és növényvizsgálatokkal kell megítélni.

Laborvizsgálati módszerek fejlesztése

A makro elemek közül elsősorban a P analitikájával kapcsolatos kutatások során fejlesztettük tovább a laboratóriumi vizsgálati módszereket. Kisebb-nagyobb mértékben módosítottuk, egyszerűsítettük a talajoldatok P-tartalmának meghatározására alkalmas ammónium-molibdátos és ammóniumvanadátos kolorimétrikus módszereket. Megállapítottuk, hogy a talaj "összes P" tartalmának mérésére jól alkalmazható a klasszikus ömlesztéseknél jóval egyszerűbb $H_2SO_4+H_2O_2$ -os eljárás. Hasznosnak bizonyult a Chang-Jackson féle P-frakcionálás, valamint a Németh-féle EUF eljárás kisebb-nagyobb módosításokkal történt adaptálása.

A laboratóriumi módszertani fejlesztésekkel egyidejűleg kritikailag értékeltük, növénykísérletekkel kalibráltuk a talaj P-szolgáltatásának becslésére javasolt különböző vizsgálati módszereket, eljárásokat. A hazai mezőgazdasági intézetekben, kísérleti állomásokon a század első harmadában-felében a standardnak tekintett Neubauer-Schneider rozcsíra-növényes eljárás mellett a talaj mésztartalmát illetve lúgosságát is figyelembe vevő 'Sigmond módszer szolgált a talaj P-ellátottságának megítélésére. A fenti eljárások elvi előnyeik ellenére meglehetősen hosszadalmasok, munkaigényesek.

Egnér-Riehm vizsgálatai szerint a pH és Ca egyidejű stabilizálása érdekében alkalmazott laktát oldattal kioldható P jó egyezést mutatott a Neubauer módszer értékeivel. Ezért Európa több országában, így hazánkban is bevezetésre került előbb az Egnér-, majd a kettős laktát (DL) módszer. Hamarosán kitűnt, hogy a DL-P értéke nemcsak a talaj P-ellátottságától, hanem egyéb tulajdonságaitól, mint pl. a pH-tól és agyagtartalmától is függ. Ezért a különböző talajtípusokon más és más DL-P határértékek alapján becsülték a P-trágyaigényt.

Saját vizsgálatainkból is megállapíthattuk, hogy a hazánkban gyakran előforduló 10-15% CaCO_3 tartalmú talajokon a kettős laktát tompító képessége már nem elegendő az 5-nél nagyobb pH-jú szüredékből a dikalciumfoszfát kicsapódásának megakadályozására. Ilyen talajokon tehát a DL-módszerrel kisebb-nagyobb mértékben alábecsüljük a talaj P-szolgáltatását. E hiba kiküszöbölésére Egnér-Riehm-Domingo kalciumlaktát helyett ecetsavas ammóniumlaktátot javasolt kivonószerként. Saját vizsgálataink is igazolták, hogy az AL-oldat erősebb puffer a DL-nél, 20-30% CaCO_3 tartalmú talaj vizsgálatára is alkalmas. Ezért a '60-as években a hazai szaktanácsadó laboratóriumok részére kisebb módosítással az AL-módszer alkalmazását javasoltuk.

A további kutatásokból kitűnt azonban, hogy a 3,75 pH-jú AL kivonószert viszonylag jól oldja a nehezen felvehető Ca-foszfátokat is. Így az egyes nyersfoszfátokkal trágyázott talajoknál a növénykísérletek szerint gyenge P-ellátottságát az AL-módszerrel túlbecsüljük. A különböző talajokon beállított szabadföldi kísérletekből származó talajminta-gyujteményünk vizsgálatából az is megállapítható volt, hogy az azonosnak tapasztalt P-szolgáltatású talajok AL-P tartalma nem volt azonos.

E téma során adaptáltunk és továbbfejlesztetünk különböző kistenyészedényes és Neubauer típusú eljárásokat, melyek lehetővé tették viszonylag nagyszámú talaj P-szolgáltatásának szabatos összehasonlítását. E kísérletek eredményeiből is kitűnt, hogy csak a hasonló tulajdonságú talajcsoportokon belül volt igazolható kapcsolat a növények P-tartalma és a talajok AL-P értéke között. Nem volt kedvezőbb a helyzet a CAL-P esetében sem. Ugyanakkor a NaHCO_3 -ban oldódó "Olsen-P", valamint a H_2O -P jól tükrözte a növények P-felvételét.

Sajnos technikai okok miatt ez utóbbi módszerek nem tudtak a hazai talajvizsgálati (TVG) laboratóriumokban elterjedni. Az AL-módszer megmaradásához az is hozzájárult, hogy a talajkivonatból a P mellett a K, valamint a Ca is jól mérhető. A '70-es években a MEM NAK kiadásában megjelent üzemi számítási módszer során a hazai genetikai talajtípusokat hat termőhelyi csoportba osztották és a P illetve K ellátottságot a termőhelyre jellemzőnek gondolt határértékek alapján állapították meg. Ez az eljárás azonban nem számol azzal a ténnyel, hogy egy-egy talajtípuson, termőhelyen belül lényegesen eltérő tulajdonságú talajok is előfordulhatnak.

A számítógépek elterjedése lehetővé tette, hogy folyamatos modell, vagy legalábbis az előbbieknél sokkal részletesebb csoportosítás alapján vegyük figyelembe a tápelemek oldhatóságát befolyásoló talajtulajdonságokat. Az előzőekben említett tenyészedény kísérletek eredményeiből megállapítottuk, hogy a növények P felvételét olyan többváltozós hatványfüggvénnyel lehetett jól leírni, amelyben az AL-P mellett a talaj pH-ja, CaCO_3 tartalma és az Arany-féle kötöttségi száma (K_A) szerepelt. A KSzE agrárfejlesztő Rt-vel közösen kialakított számítógépes programban a talajtulajdonságokat egy 4 jegyű kód jellemzi. Az első számjegy a víz- és anyagmozgás irányát, valamint a termékenységét limitáló csoportokat jellemzi. A második számjegy a

K_A , a harmadik a pH és $CaCO_3$ tartalom, a negyedik a szerves anyag szerint csoportosít. E tulajdonságok kombinációból elvileg kialakítható 280 féle 4 jegyű kódszámokra a kísérleti és vizsgálati adatok alapján külön-külön állapítottuk meg a P, K, N és Mg ellátottságot jellemző határértékeket.

A műtrágyaigényt a program a növény tervezett termése, valamint a fajlagos tápelem-tartalom és a talaj tápelem-ellátottságának megfelelő szorzószám alapján adja meg. Figyelembe veszi továbbá az egyéb műtrágya-igényt módosító korrekciókat is (istállótrágyázás, műtrágya utóhatások stb.). Program szerint tervezett műtrágyaadagokat a KSzE-vel együtt több száz táblán összehasonlítottuk a gazdaságok tényleges műtrágya-felhasználásával, továbbá néhány egyéb szervezet ajánlásaival. Az összehasonlításban szerepeltek a MÉM NAK újabb, ún. "Fehér könyv"-ében található számítási módszerek is. E kiadványban a '80-as években stagnáló országos műtrágya-felhasználás növelése érdekében módosították az AL-PK határértékeket. Megállapítható volt, hogy e módosítások sok esetben irreálisan nagy műtrágya adagok tervezéséhez vezettek. Programunk javaslatai alapján elkerülhető a gazdaságtalan, környezetszennyező káros túltrágyázás. Sajnos a '90-es évek drasztikus műtrágya felhasználás-csökkenését nem tudtuk megakadályozni, a program a szükséges hiteleket nem tudja biztosítani.

A talaj P-forgalmának vizsgálata

Közismert, hogy a talaj P-vegyületeinek mozgékonyága kicsi, a talajoldat viszonylag nagyon kevés foszfátot tartalmaz. A műtrágyák első évi hasznosulása - a P-nélküli kontrollhoz viszonyított többlet Pa-felvételből számítva - ritkán haladja meg a 25-30%-ot. E tapasztalathoz alakult ki már a múlt században az a vélemény, hogy a várható termés P-tartalmának legalább három-négyszeresét kell P-trágyaként a talajba adni. E gyakorlat szerint az évente kijuttatott P kétharmad-háromnegyed része a talajban marad. Különböző P-mérleg számításaink szerint a '80-as évek végéig országos átlagban a mezőgazdaságilag művelt területeinken mintegy $1000 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ halmozódott fel.

Mind talajkémiai, mind agronómiai szempontból fontos kérdés a talajban maradt P átalakulásait, a P-trágyák utóhatásait befolyásoló talajtulajdonságok vizsgálata. A P megkötődését kutató modell- és tenyészedény-kísérletekben különböző ideig érleltünk vízdoldható foszfátokat eltérő kémhatású és mechanikai összetételű talajokon. A P oldhatóságának változását a szokásos gyengén savanyú, lúgos valamint semleges oldószerekkel, illetve a növények (angolperje, bab, kukorica, kalászosok) szárazanyag-hozamával és P-felvételével ítéltük meg.

Az eredményekből kitént, hogy ugyan a megkötés számszerű értéke a meghatározás módjától, az alkalmazott oldószertől és a tesztnövénytől függ, de a törvényszerűségek általában az irodalomból ismertekhez hasonlóak. Azaz a talajba adott P oldhatósága az esetek többségében az idővel exponenciálisan csökken, a leiszapolható %-kal egyenesen, a pH-val egy bizonyos határig fordítva arányos, függ a P műtrágya adagjától és oldhatóságától, a talaj eredeti könnyen oldható P és Al tartalmától.

Egyes kísérletekből azonban az is kitént, hogy a P kémiai vagy fizikokémiai megkötődése nem mindig okozza okvetlenül a növények P felvételének csökkenését. Eltekintve a reverzibilis folyamatoktól, az egyéb tápanyagok oldhatóságának változása is befolyásolhatja a talaj P-szolgáltatását. Így pl. egyik kísérletsorozatunkban a vízdoldható

monokalciumfoszfáttal előzőleg fél évig érlelt talajokon termesztett kukorica hozama nagyobb volt, mint a közvetlenül a vetés előtt talajba kevert, a P-t kevésbé megkötött talajon termesztetté. A jelenség okát a P-Zn antagonizmusban találtuk meg. A megkötődött P kevésbé csökkentette a talajoldat Zn tartalmát, mint a frissen adott, zömmel még vízoldható P. Nagyadagú P-trágyázás okozta Zn hiány terméscsökkenő hatása szabadföldi kísérleteinkben is kimutatható volt.

A Mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon folytatott tartamkísérleteink szerint a talajba egy ízben adott, vagy a P-mérleg számítás alapján fokozatosan felhalmozódott $700-800 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ utóhatása még 20 év után is igazolható volt. Az utóhatás mértéke természetesen függ a kísérleti növény fajától, annak termését befolyásoló tényezőktől, főleg az időjárástól. Ez utóbbi tényezők zavaró hatásainak kiküszöbölésére a P utóhatást az évenként adott friss P hatásaival mértük. A búza monokultúrában kapott eredmények szerint az első években a talajban maradt "régi" P hatása még nagyobb is volt a friss P-énál. A 3-4 éve adott szuperfoszfát a talajműveléssel jobban eloszlott a talajban és a növények részére jobban hozzáférhetővé vált, mit a frissen adott szemcsés szuperfoszfát góccok. A további években már fokozatosan csökkent a P utóhatása. A régi P "felezési ideje", azaz hatékonyságának felére csökkenése ezen a mezőföldi mészlepedékes csernozjomon 5-6 éves időszakonként következett be.

A martonvásári kísérleti területünk erodált részének gyengén és erősen karbonátos változatain 1959 óta kukorica-búza dikultúrában folyó tartamkísérletünkben lehetőség nyílt a talaj karbonát-tartalma és a P-hatások, ill. utóhatások közötti összefüggések kutatására. Az évi $60-80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ tartalmú szuperfoszfát terméscsökkentő hatása gyakorlatilag azonos volt a gyengén meszes, átlag 2% CaCO_3 -t és a foltokban 15%, átlag 10% CaCO_3 tartalmú parcellákon.

A régi és a friss P-hatások vizsgálata érdekében 1975-ben átalakított martonvásári kísérlet gyengén karbonátos parcelláin (Nagyhőrcsökhöz hasonlóan) a mintegy $700 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ talajban maradt P_2O_5 hatékonysága az első ciklusban nagyobb volt a frissen adott évi $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ tartalmú szemcsés szuperfoszfáténál. A P utóhatása, bár csökkenő mértékben, de a gyengén karbonátos parcellákon még a 20. évben is igazolható volt.

Az erősebben karbonátos parcellákon a P utóhatása azonban sokkal rövidebb ideig, 12 évig tartott, a 4. és 5. ciklusban statisztikailag már nem volt bizonyítható. Az évente adott P hatását nem befolyásolta a talaj karbonát-tartalma. Már az első ciklusban és természetesen a 20 év átlagában az évi P trágyázás felülmúlta az erősebben karbonátos talajon kevésbé felvehetővé alakult régi P terméscsökkentő hatását. E kísérletek tanulsága szerint nem kell okvetlenül megnövelni minden erősen karbonátos talajon az évente tervezett P-adagot. Utóhatásra is számító "feltöltő" P trágyázás azonban az ilyen talajon meggondolandó.

A P-forgalom vizsgálatához tartoznak a szabadföldi és tenyészedény kísérletezéshez kapcsolódó módszertani kutatásaink is. A korszerű statisztikai értékelési és parcellarendezési módszerek honosításán kívül továbbfejlesztettük a talaj- és növény-mintavételi módszereket, mértük többek között a gépi talajművelések okozta tápelem-áthordásokat, megállapítottuk a szükséges szegélyek méreteit. Vizsgáltuk és publikáltuk továbbá a talaj könnyen oldható tápelemeinek heterogenitását, valamint a pontosságukat és megbízhatóságukat befolyásoló tényezőket.

Kádár Imre

Savanyú talajok termékenységének növelése meszezéssel

Az országos vizsgálatok és felvételezések adatait felhasználva, együttműködve más intézményekkel, áttekintettük a savanyú talajok helyzetét Magyarországon. Összefoglaltuk a meszezéssel kapcsolatos hazai és nemzetközi tapasztalatokat, felmértük az ország agronómiai mézigényét és megfogalmaztuk azokat a kutatási prioritásokat, valamint hatóság tennivalókat, amelyeket a fenntartható mezőgazdaságunk igényel.

A szabadföldi kísérletek és üzemi megfigyelések tanulságai szerint a meszezés, illetve a rendszeres mésztrágyázás elhanyagolása komoly távlati következményekkel jár a már elsavanyodott talajon. Csökken a termesztendő növények köre, termése, minősége. A savanyú talajú körzetek általában tápanyagokban is szegények, ahol a helyi lakosság egyetlen megélhetési forrását gyakran a mezőgazdaság képezi. Az alacsony jövedelmek nem teszik lehetővé a vidéki munkaerő foglalkoztatását, a talajok tápanyag- és reakcióállapotának rendezése nélkül nem valósítható meg a stabil jövedelmező gazdálkodás. A gazdasági és szociális problémákhoz járul, hogy az elsavanyodó talajokban mobilizálódnak némely toxikus elemek, nehézfémek, amelyek a lakosság egészségét veszélyeztethetik. Pénzben szintén kifejezhetetlen az a kár, amely a talajok ökológiai funkcióit (megkötő, szűrő, átalakító, öntisztuló) érheti. Amennyiben a talajvíz a felszínhez közel helyezkedik el, fennáll a vízszennyezés lehetősége is.

A hazai és nemzetközi történelmi adatok szerint a talaj termékenységének (meszezés, trágyázás) megőrzését és növelését célzó tőkeberuházások elsődlegesnek minősülnek, amennyiben meghatározzák az egyéb beavatkozások hatékonyságát és ezzel a növénytermesztés, illetve rajta keresztül az egész mezőgazdaság teljesítőképességét. A meszezés rendkívül gazdaságos eljárás lehet az erősen savanyú talajon és mézigényes kultúrák termesztésénél. A hazai kísérletek szerint a terméstebblet 30-50%-ot is elérhet évente, az eljárás 2-4 év alatt megtérülhet, míg kedvező hatása 10-20 évig fennmaradhat. Figyelemmel a Nyírség és Somogy Mg-igényes talajaira, a meszezőanyag kb. 1/4-ét dolomitpornak kell alkotnia.

Az ország agronómiai mézigénye mintegy 1 millió t/év CaCO_3 egységre becsülhető, amennyiben a civilizációs hatásokat (gazdálkodás, műtrágyázás, légköri terhelés) is ellensúlyozni kívánjuk, valamint a már elsavanyodott talajok javítását is célul tűzzük ki egy 20 éves meliorációs program keretében. A program csak kiemelt állami támogatással valósítható meg, vidékfejlesztési és környezetvédelmi megokolással. Az 5,0 pH(KCl) alatti feltétlen meszezést igénylő talajok aránya 13% körüli, azonban a savanyodásra többé-kevésbé érzékeny és meszezési/mésztrágyázási szempontból figyelembe veendő területek további mintegy 40%-ot képviselnek. Utóbbihoz sorolandók a gyengén savanyú telítetlen és részben telített talajok. A hasznosított mezőgazdasági terület 6,2 millió hektár területe alapján az agronómiai mézigény tehát kb. 3 millió hektáron jelentkezhethet.

Műtrágyázási tartamkísérletek tanulságai homoktalajokon

A műtrágyázást megelőző időszakban az istállótrágya és a N-gyűjtő pillangósok zöldtrágyája volt az egyetlen, korlátozottan rendelkezésre álló tápanyagforrás. A műtrágyázási szabadföldi kísérletezés feltárta a termésnövelés lehetőségeit és rámutatott

azokra a különbségekre is, amelyek pl. a savanyú nyírségi és a meszes Duna-Tisza közti homokterületek között fennállnak a műtrágyák talajra és növényre gyakorolt hatását tekintve.

Hazánk egyik legrégebbi kisparcellás műtrágyázási kísérlete a Nyírségben található, melyet 1962 őszén állított be Láng István. A kovárványos barna erdőtalaj savanyú, homok mechanikai összetételű (Nyírlugos). A vetésváltás burgonya-rozs (2x5 év), illetve burgonya-búza (2x4 év) volt az első 18 év folyamán. Az első években mind a burgonya, mind a rozs termése megközelítette az akkori alacsony országos átlagokat még a trágyázatlan talajon is. Az első évtized terméstöbbleteit döntően a N-trágyázás határozta meg, de nőtt a P hatása a rozsnál, majd fokozatosan a K hatása a burgonyánál az idő előre haladtával. Összességében az együttes NPK műtrágyázással megkétszerezhattuk a burgonya, rozs forgó hozamát az évtized végén.

A következő 8 év folyamán az intenzívebb holland Desirée burgonyafajta gumótermése erősen lecsökkent a trágyázatlan, elszegényedő talajon. Műtrágyázással azonban a hozamok nemcsak fenntarthatók, hanem az akkori országos átlag 1,5-2,0-szeresére növelhetők voltak 25-28 t/ha gumótermést elérve a kedvezőbb években. A kontroll parcellák termése megkétszereződött vagy háromszorozódott. Egyaránt hatékonyak mutatkoztak ekkor már az N, NP és az együttes NPK kezelés, de a Ca és Mg trágyák előnyét még nem lehetett igazolni.

A kísérlet 22. évében végzett talajvizsgálatok eredményei szerint elsősorban a N-műtrágyázás hatására a talaj tovább savanyodott és a pH(KCl) 4,0 alá süllyedt, míg a Ca és Mg trágyázás ellensúlyozta e folyamatot. Az együttes CaMg kezelésben a talaj pH(KCl) 5,9 értékre emelkedett. A talaj humuszkészletében nem lehetett változást igazolni a kezelések eredményeképpen, a 0,5% humusztartalom változatlan maradt. A felvehető P és K készlete azonban átlagosan megkétszereződött a megfelelő kezelésekből és ezen parcellák talaja a "megfelelő" ellátottsági kategóriába jutott. A meszeztet talajban ezen túlmenően megnőtt a kicserélhető és a vizes kivonatban mért Ca, valamint drasztikusan lecsökkent a Mn koncentrációja. A rendszeres Ca-trágyázás tehát akadályozza bizonyos fémek túlzott mobilitását és a táplálékláncba kerülését. Utóbbi a részletes növényelemzési adatok is igazolták.

A kísérlet 23. évében, 1984-ben termett napraforgó termését már nem növelte az egyoldalú N vagy NK kezelés, az együttes NPK trágyázással azonban a kaszattömeg megkétszereződött. Az NPK+Ca, illetve NPK+Mg kiegészítés is hatékonyan mutatkozott. Mind az 5 hiányzó tápelemet együtt adagolva az NPKCaMg kezelésekből, a kontrollhoz viszonyított termések 3,5-szeresre emelkedtek elérve a 2,6 t/ha kaszattömeget, illetve az 1,2 t/ha olajhozamot. A meszeztet és tápanyagokkal kielégítően ellátott talajon jobb volt a kelés, 1/3-ával nagyobb volt a betakarításkori tőszám, 40-50%-kal a növények magassága és tányérátmérője, valamint felére csökkent a Sclerotinia %-os fellépése. A növények elemösszetétele itt hasonlóvá vált a mezőföldi csernozjomon termett növényekéhez és az irodalmi optimumhoz.

A 90-es években triticales monokultúrává alakult a kísérlet. Az évtized első felének aszályos időjárása nem tudta érvényre juttatni a műtrágyahatásokat. A kedvező 1998. évben azonban, a 8. éves triticales monokultúrában a 36 éve trágyázatlan kontroll 0,9 t/ha szemtermése az N-kezelésben 2,5, az NP-kezelésben 3,8, az NPK-kezelésben 5,3, az NPKCa-kezelésben 6,5, míg az NPKCaMg kezelésben 7,9 t/ha szemtermést adott. Összefoglalóan megállapítottuk, hogy a belterjesebb burgonyafajták és a

mészigényesebb növények (napraforgó, búza, triticales) is sikerrel termesztethők e tájon aszálymentes években, amennyiben gondoskodunk a megfelelő tápelem-ellátásról, valamint a talaj pH(KCl) 5,5-6,0 értéken tartásáról 0,5-1,0 t/ha örlött dolomitport alkalmazva.

A trágyahatások mértéke, minimum-sorrendje változik, azok időfüggők. Változik maga a talaj is. A gazdálkodás, környezetvédelem, tágabban a földi élet fennmaradása szemszögéből gyakran azok a hosszú távú, kumulatív vagy ritkán előforduló események a döntőek, amelyek a rövid idejű vizsgálataink során rejtve maradnak előttünk. Ide sorolható a globális klímaváltozás, vagy a tápanyagok és szennyezők akkumulációja, átalakulása, forgalma a talaj-növény rendszerben, táplálékláncban, az egész bioszférában. Hosszú távú folyamat a talaj fokozatos elsavanyodása, elszegényedése, változása művelés vagy trágyázás hatására. A generációk munkájával fenntartott tartamkísérletek és a hozzájuk kapcsolódó sokoldalú vizsgálatok lehetővé teszik a ritka vagy lassú változások felismerését. Láthatóvá válik a jelen és a múlt, biztonsággal ítélhető meg a jövő. Ezért igyekszik az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete megőrizni felbecsülhetetlen értékű szabadföldi tartamkísérleteit Mezőföldön, a Nyírségben és a Duna-Tisza közén, melyek egyaránt szolgálják a jelenkori és majdan jövőbeni problémáink megoldását.

A Duna-Tisza közén beállított talajművelési és trágyázási kísérletek között kiemelkedő szerep jutott az Intézet őrbottyáni telepének Egerszegi Sándor, Láng István, Hepp Ferenc, Dvoracek Miklós, Lásztity Borivoj, Kozák Mátyás és Szemes Imre munkája nyomán. A felszínében is meszes, 1% körüli humuszkészlettel rendelkező homoktalaj alapvetően szegény N-ben, emellett azonban meghatározó jelentőségű a K-trágyázás. Szabadföldi műtrágyázási tartamkísérleteink adatai szerint minden növény igényli a talaj AL-oldható K₂O készletének 150-200 ppm szinten tartását, ellenkező esetben és igen kifejezett hiány esetén a kalászos kultúrák potenciális termésének 1/3-át, a kukorica és a K-igényesebb zöldségfélék 1/2 - 2/3 részét is elveszíthetjük.

A K-trágyák a talaj hiányosságát pótolják, ellensúlyozzák a Ca túlsúlyát, javítják a talaj tulajdonságait, helyreállítják az optimálishoz közeli kationarányokat a növényi szövetekben. Így nemcsak a haszonnövények termése nő, hanem javul a minőség, ásványi összetétel, közvetetten a gazdanövény gyomelnyomó képessége, aszályal és betegségekkel szembeni ellenállása. Mivel a főváros körüli zöldségellátó övezet jórészt a karbonátos homoktalajokra települt, a minőségi követelmények szükségessé teszik a kolloidszegény, gyengén pufferolt homoktalajok rendszeres vizsgálatát gazdálkodási és környezeti szempontból egyaránt. A rendszeres növényelemzéssel ellenőrizhető a növények tápláltsági állapota és feltárhatók az eseti anomáliák. A főbb növények mintavételének mikéntjére, valamint a tápelem-ellátottsági orientációs határértékekre javaslatokat dolgoztunk ki a szaktanácsadás számára.

A műtrágyázási szaktanácsadás alapelveinek és módszereinek vizsgálata

A trágyázásnak leegyszerűsítve kettős célja van. Egyrésztől elkerülendő a termésvesztés az alul- vagy túltrágyázásból eredően, másrészt fenntartandó a talaj tápelem-ellátottsága a "kielégítő" szinten. Ez az a szint, ahol a trágyázás leghatékonyabb gazdasági szempontból, ugyanakkor nem terheli feleslegesen a környezetet.

1.táblázat: Javaslat a P és K műtrágyázás irányelveire vetésforgóban a talaj ellátottsága, valamint a növény trágyaigényessége függvényében (*Kádár 1989*)

P és K ellátottsági kategória	Trágyázás intenzitása (fajlagos igény szorzófaktora)		
	Trágyaigényes	Nem trágyaigényes	Forgó egésze
Káros	-	-	-
Magas	1	-	0,5
Kielégítő	1,5	0,5	1,0
Közepes	2,0	1,0	1,5
Gyenge	2,5	1,5	2,0

Megjegyzés: A kalászosok P-igényesek, a kapások K-igényesek általában. A napraforgó homoktalajon trágyaigényes, kötött talajon nem igényes

Az 1. táblázatban megkíséreljük számszerűen is bemutatni a PK-trágyázás filozófiáját egy hosszabb időszakot, pl. vetésforgót tekintve. A trágyázás intenzitását a növény által igényelt tápelemek mennyisége (fajlagos igény) alapján becsültük a talaj ellátottsága és a növény trágyaigényessége függvényében.

A műtrágyahatásokat módosító egyéb tényezők figyelembevétele:

- A N-igény csökken egyéves pillangós elővetemény után átlagosan 30, évelő pillangóst követően pedig az állománytól függően 40-60 kg/ha/év mennyiséggel.

- A N-igény nő humuszban szegény és nitrogénnel gyengén ellátott talajon tág C:N arányú és nagy tömegű szerves anyag (szalma, kukorica és napraforgó szára stb.) leszántásakor, 8 kg N t⁻¹ szármaradványra számolva.

- A tervezett termés tápelem-igénye csökken, amennyiben az elővetemény termése lényegesen elmaradt a tervezettől valamilyen elemi kár, mint pl. szárazság, fagykár, betegség miatt. A közepesnél jobban ellátott kötöttebb talajokon, az előző évben felhasznált trágyák utóhatását tekintetbe véve, az előző növény által fel nem vett NPK mennyiség 50%-ával.

- A fajlagos átlagos K₂O igény csökken kombájn betakarításnál, amikor csak a szem távozik a tábláról. A kalászosoknál 10, a kukoricánál 15, míg a napraforgónál 60 kg/t-vel kevesebb kálium mennyiséggel számolunk (tehát 70 helyett 10 a fajlagos igény utóbbi esetben).

- Az NPK-igény csökken az alábbi módon, közepes minőségű almos istállótrágya leszántásakor, 10 t istállótrágyára vetítve:

Első évben	20 kg N	20 kg P ₂ O ₅	40 kg K ₂ O
Második évben	<u>20 kg N</u>	<u>20 kg P₂O₅</u>	<u>30 kg K₂O</u>
Összesen a forgóban	40 kg N	40 kg P ₂ O ₅	70 kg K ₂ O

- Az NPK-igény csökken az alábbi módon, átlagos összetétellel számolva, minden m³ hígtrágya leszántásakor:

Friss trágya	1,5 kg N	0,6 kg P ₂ O ₅	0,9 kg K ₂ O
Állott trágya	1,0 kg N	0,4 kg P ₂ O ₅	0,8 kg K ₂ O

-A P_2O_5 igény mintegy 20%-kal *nő*, amennyiben a talaj $CaCO_3$ %-a 20 felett van, tehát túlzott a karbonátosság, vagy a pH(KCl) 5 alatti, tehát túlzott a savanyúság. Mindez a gyenge és közepes ellátottság esetén javasolt.

A talaj AL-oldható PK tartalmának határértékeit a 2. táblázat foglalja össze. A felvehető P-tartalmat a talaj reakcióállapota, míg a K tartalmakat a kötöttség függvényében kategorizáltuk. Mint ismeretes, ezen tulajdonságok döntően befolyásolják a talajvizsgálati adatok értelmezését.

2. táblázat A talaj AL-oldható PK-tartalmának javasolt határértékei szántóföldön (Kádár, 1992)

Termőhely Talaja	A PK-ellátottsági tartomány határkoncentrációi				
	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas	Káros
AL- P_2O_5 , mg/kg					
Savanyú	50 alatt	50 - 80	81 - 120	121 - 150	151 felett
Semleges	80 alatt	81 - 120	121 - 150	151 - 200	201 felett
Karbonátos	100 alatt	101 - 150	151 - 200	201 - 250	251 felett
AL- K_2O , mg/kg					
Homok	50 alatt	51 - 100	100 - 150	151 - 200	201 felett
Vályog	100 alatt	101 - 150	151 - 200	201 - 250	251 felett
Agyag	150 alatt	151 - 200	201 - 250	251 - 300	301 felett

A növénytáplálás alapelveinek és módszereinek vizsgálata

A talaj-növény rendszer elemforgalmát számszerűen is megkíséreltük bemutatni az elmúlt gazdálkodói rendszerekben, a parlagos gazdálkodástól napjainkig. A mezőgazdaság fejlődéstörténete és a talaj termékenysége közötti kapcsolatokat történeti adatok felhasználásával elemeztük és megbecsültük a főbb tápelemek gazdálkodással összefüggő veszteségeit e rendszerekben. Megállapítottuk, hogy a gazdálkodási módoktól és a vetésforgóktól való elszakadás lehetőségeit minden korban döntően meghatározta a tápanyagellátás lehetősége, a talajtermékenység megőrzésének módja. A gazdaság körforgásából kikerülő tápelemek mennyisége mintegy 50-100-szorosára nőtt a parlagos gazdálkodás óta. A fejlődés a közelmúltig együtt járt azzal, hogy az üzemek tápelem-igénye soha nem látott mértékben nőtt meg, illetve a nyitott tápelem-forgalommal rendelkező korszerű árutermelő gazdaságok műtrágyák iránti igénye szinte kielégíthetetlennek mutatkozott.

Vizsgáltuk Magyarország tápelem-mérlegét a századelőtől napjainkig. Századunk első felében a termékek stagnáltak, talajaink szegényedtek, mert a termékekkel eltávozó NPK fő tápelemek kb. 1/3-át volt csak képes az akkori szerves trágyázás pótolni. Pozitív P-mérleg mintegy 3 évtizeden át 1960-1990 között, míg pozitív N és K mérleg 2 évtizeden át 1970-1990 között állt fenn a nagyobb mérvű műtrágyahasználat eredményeképpen. A talajgazdagító P és K mérleg nyomán javult művelt talajaink PK-ellátottsága, a N túlsúlya ugyanakkor jelentősen hozzájárulhatott vizeink NO_3 -terheléséhez is szabadföldi kísérletek tanulságai szerint. Az 1960-1990. évek során elért termésemelkedésben a műtrágyázás szerepe 40-50%-ra tehető, tehát a fajtaválasztással együtt meghatározó volt.

Áttekintettük a szabadföldi kísérletezés alapelveit és módszereit. Vizsgáltuk kialakulását, szerepét a hazai agronómiai/agrokémiai tudomány fejlődésében, főbb

típusait, a módszer korlátait, előnyeit és hátrányait. A talajtermékenységgel, illetve a növénytáplálással kapcsolatos agronómiai/agrokémiai ismereteink zöme a szabadföldi kísérletekből származik. Az újabb kori igényeknek megfelelően olyan szabadföldi kispárcellás kísérleteket kezdeményeztünk az 1970-es évek elején, melyekben szabatosan vizsgálhatók az eltérő tápláltsági ill. terhelési szituációk (gyenge, közepes, kielégítő, magas vagy káros) és azok kölcsönhatásai, melyek a gyakorlatban is előfordulnak vagy előfordulhatnak.

Így pl. a mezőföldi csernozjom talajon (Nagyhörcsök) 4³ típusú 64 kezeléssel 128 párcellás kísérletben elemezzük a különböző NxPxK ellátás és azok összes lehetséges kombinációjának hatását a talajtulajdonságokra, a főbb hazai kultúrnövények fejlődésére, termésére, minőségére, ásványi összetételére, gyomosodási viszonyaira, betegség-ellenállóságára stb. a társtudományok képviselőivel együttműködve. Az elmúlt 26 év folyamán két tucat növényfajra állapítottunk meg növénydiagnosztikai határkoncentrációkat a szaktanácsadás számára, valamint jellemeztük a tápanyagfelvétellek 20-25 elemre kiterjedően. Ezek az adatok a hazai irodalomból jórészt hiányoztak.

A kísérletek lehetővé tették a főbb ionantagonizmusok (PxZn, KxCa, KxMg, KxSr stb.) és szinergizmusok (PxSr, NxCa, NxMg) bemutatását szabadföldön és értelmezésüket a trágyahatások magyarázatában, közvetlenül a szaktanácsadásban. A tápláltság x gyomosodás összefüggéseit vizsgálva megállapítottuk, hogy a szakszerűtlen műtrágyázás gyomnövelő tényező. A gyomosodás ugyanis mind az alul, mind a túltáplálás során erősödhet, amennyiben csökken a talaj kultúrnövényvel való borítottsága. A széles gyomspektrumból olyan fajok indulnak erőteljes fejlődésnek, amelyek képesek hasznosítani az extrém (hiányos vagy túlsúlyos) szituációt. A szakszerű trágyázás ezzel szemben erőteljesebb kultúrnövény borítottságot, vagy minimális gyomosodást eredményez.

Az ásványi táplálás megváltoztatja a növények egész fejlődését, biológiáját és ezen keresztül a gyomokkal, betegségekkel és kártevőkkel szembeni viselkedését. Így pl. megállapítottuk, hogy a tápanyagbőség általában fiatalabb, nedvdúsabb növényeket produkál. A kényszerérésre még száraz években sem kerül sor és ez a Macrophominával szembeni ellenállás élettani alapjául szolgálhat. A kukorica fuzáriumos szártörését és a burgonya alternáriás levélfoltosságát a P-túlsúly drasztikusan növelheti, míg a K túlsúlya ellensúlyozhatja. A búza lisztharmattal, valamint a kukorica golyvásüszöggel való fertőzöttségét a N túlsúlya megkésztározhatja, míg a P-ellátás javításával a betegség fellépése jelentősen mérsékelhető. Eddigi megfigyeléseink szerint a rovar és egyéb kártétel, ha egyáltalán érdemleges volt egy-egy évben, elsősorban a jól vagy túlzottan táplált állományban jelentkezett, az állati kártevők mintegy "kiselejtezik" az egyoldalúan túltáplált növényeket.

Mivel a növényanalízis korábban gyakorlatilag hiányzott a hazai szaktanácsadás rendszeréből, vizsgáltuk e módszer alkalmazhatóságát és hazai bevezethetőségét. Áttekintettük kialakulását, tartamkísérleteinkben elemeztük a növényi elemkoncentrációk és a termés összefüggéseit. Foglalkoztunk a növény kora, tápelem-tartalma és arányaik problémájával; az időjárási tényezők és az évhatás értelmezésével; a mintavétel és a tápelem-tartalom heterogenitásával. Tapasztalataink, valamint az irodalmi tanulságok alapján javaslatot tettünk a növényvizsgálatokra alapozott műtrágyázási szaktanácsadás bevezetésére (Állókultúrák és szántóföldi növények

mintavételi módszere. MÉM NAK 1980). Kiadványunkban a mintavételi eljárásról az ellátottsági határértékeket és azok értelmezését is bemutattuk.

Vizsgáltuk a tenyészedény kultúrák alapelveit és módszerét, felhasználását a növénytáplálási kutatásban és szaktanácsadásban. Főként irodalmi, kisebb részben saját kísérleteink alapján áttekintettük a tápoldatos kísérletezés problémáit (a tápoldatok összeállítása, a talaj nélküli termesztés lehetőségei, előnyei és korlátai), a homok és talaj tenyészetek sajátosságait, eredményeinek interpretálását saját kísérleteink példáján. Végül bemutattuk a szabadföldi mikroparcellás és liziméteres kísérletek előnyeit és alkalmazhatóságát. A passzív megfigyelésen és adatgyűjtésen (vizsgálatok kísérletek nélkül) alapuló kutatások korlátait és alapelveit is szükségessé vált összefoglalni és bemutatni helyét, szerepét az egyéb agrokémiai módszerek között, mivel a '70-es és '80-as évek egyes vezető MÉM NAK irányítói a táblasoros adatok számítógépes feldolgozásával vélték helyettesíthetőt a kísérleti módszereket és technikát. A növénytáplálás alapelveit és módszereit monografikusan kézikönyvünk foglalta össze 1992-ben a hazai kutatás és szaktanácsadás számára.

A talajok mikroelemekkel való szennyezésének vizsgálata

Kutatásaink az 1970-es évek eleje óta kapcsolódnak közvetlenül több környezetvédelmi témához, részben a Földművelési, részben a Környezetvédelmi Minisztérium megbízásai alapján. E munkák során részt vettünk a

- szennyvizek és szennyvíziszapok ártalommentes elhelyezését szabályozó hazai irányelvek kidolgozásában,
- talajok megengedhető káros-elem tartalmát előíró szabványok kidolgozásában,
- közlekedés, település és ipar által okozott nehézfém-terhelés felmérésében,
- hazai műtrágyák, szerves-trágyák, komposztok szennyezettségének vizsgálatában

Az 1990-es években már sokoldalú kísérletes vizsgálatokkal kísérjük nyomon a legfontosabb ásványi szennyezők mozgását a talaj – növény - állat rendszerben, illetve a táplálékláncban. A talajra, növényekre, állatokra megadott terhelési/toxicitási határkoncentrációk ma még nem kellően megalapozottak, az érdemi komplex kísérletes vizsgálatok jórészt nemzetközi szinten is hiányoznak. A határértékekre épülő szaktanácsadás vagy jogi szabályozás hatékonyságát, prognosztikai erejét a háttérkutatások mélysége és szélessége szabja meg. A határértékeket minden országban kalibrálni kell szabadföldi tartamkísérletekben, a helyi viszonyok (talaj, éghajlat, gazdálkodás, növényfajok) függvényében. Kutatásaink az alábbi elméleti és gyakorlati szempontból fontos kérdések megválaszolására irányultak, illetve irányulnak:

- Hazai talajok szennyezettsége és a szennyezett talajok elterjedése Magyarországon.
- Környezetszennyezés/talajszennyezés forrásai. Szennyező elemek mérlegei, bevétel és kiadás tételei Magyarországon.
- Szennyezők viselkedése a talajban (megkötődés, kilúgzás, elillanás), hatásuk a talajéletre, növényre (termés, minőség, toxicitás, elemakkumuláció stb.).
- Mely termőhelyek, talajok, növények, vízbázisok a leginkább veszélyeztetettek?
- Mit tegyünk a leginkább veszélyeztetett objektumok (talaj, növény, víz, állat, ember) védelme érdekében?
- A már elszennyeződött területen milyen beavatkozást, gazdálkodást, vetésforgót kell alkalmazni, hogy a káros elemek ne jussanak ki a talaj-növény rendszerből? Talajhasználat korlátozása a talajszennyezettség függvényében.

Az eddigi vizsgálatok, országos felmérések adatai szerint a művelt talajaink nem szennyezettek nehézfémekkel, mikroelemekkel. Inkább jellemző számos esszenciális elem tekintetében az alacsony ellátottság. A 30 ország közreműködésével végzett FAO talaj- és növényelemzések (búza, kukorica) szerint pl. alacsony ellátottságot mutatott a hazai vizsgált minták 12%-a B, 20%-a Fe és Se, 25%-a Mn és Co, 31%-a Mo, 39%-a Cu és 55 %-a Zn esetében. A szennyezettebb ipari, városi és közlekedési környezetben ugyanakkor kimutatható volt saját vizsgálataink szerint is a termőhelyek (talajok és növények) emelkedett P, Zn, Cu, Cd és részben Ni tartalma. Savanyú talajú termőhelyek szintén nagyobb növényi felvételt jeleztek általában, a Mo és Se kivételével.

Mikroelem-szennyezőkben leggazdagabbak a foszforműtrágyák. Elemzéseink szerint a hazai szuperfoszfát-gyártás alapanyagául szolgáló import Kóla-foszfátok (Oroszország) általában egy nagyságrenddel több Ga, Mn, Sr, illetve egy nagyságrenddel kevesebb Cd, Cr, Ni, Zn koncentrációt mutattak, mint a Ny-Európában használatos É-Afrikából származó hiperfoszfátok, nyersfoszfátok. Talajaink az elmúlt évtizedekben nem szennyeződtek Cd-mal, a legveszélyesebbnek tartott nehézfémekkel. Becsléseink szerint az intenzív műtrágyahasználat idején (a '80-as években) kb. 30 g As, 8 g Zn, 8 g Cu, 4-5 g Pb, 1-2 g Se, 0.8 g Cd, 0.4 g Ni terhelést jelenthetett évente hektáronként a műtrágyázás. Ez azt is jelenti, hogy a vizsgált elemek tekintetében a műtrágyázás nem minősült érdemi szennyezőnek, hiszen részesedése 5-10% alatti az összes terhelésben. Kivételt képez az As, mely a terhelés 2/3-át jelenthette szuperfoszfát formájában.

Fontos Zn, Pb, Cu, Ni forrásul szolgálhatnak a szervesztrágyák, valamint jelentős bevételi tételnek minősült a mérlegben a légköri csapadékkal (részben külföldről eredő) talajba jutó Zn, Pb, Ni, Cd mennyisége. A '80-as éveket tekintve egyensúlyi állapot állhatott fenn a bevétel/kiadás egyenlegében a Cu esetén, míg a Zn, Ni, Se 2-3, az Pb, Cd, As 4-5-szörös bevételi túlsúlyt mutatott. A '90-es évekkel az Pb és As túlsúlya drasztikusan mérséklődött, hála az ólommentes benzín térhódításának Európában, illetve a szuperfoszfát alkalmazás hazai visszaesésének eredményeképpen.

Jelenlegi ismereteink szerint csaknem két tucat elem túlsúlya fejthet ki káros hatást az élővilágra és a felszín alatti vizekre. A hagyományos agronómiai kísérletekben vizsgáljuk a N, P, K, Ca, Mg, S makro-elemek, valamint a Mn, Zn, Cu, B, Mo esszenciális mikroelemek hatását a talajra és a növényre. Az agronómiai célú kísérletek azonban nem terhelési vizsgálatok, eredményeik nem adnak választ a környezetszennyezés által felvetett újkori kérdésekre. A hazai talajtani adottságokból kiindulva kell meghatározni a kutatási prioritásokat, melyek eredményei alapján megítélhető mozgásuk a talaj-növény rendszerben, kialakíthatók a szennyezettségi határértékek.

Szabadföldi terhelési tartamkísérleteket karbonátos vályog csernozjom (Nagyhörcsök), karbonátos homok (Órbottyán) és a GATE Gyöngyösi Főiskola Karával savanyú agyagos erdőtalajon (Tas-Puszta) állítottunk be az 1991-1994. években. Karbonátos vályog csernozjomon 1991 tavaszán indult a kísérlet 13 mikroelemmel. Az Al, As, Ba, Cd, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn terhelés 30, 90, 270, 810 kg·ha⁻¹ egyszeri adagot jelentett oldható sók formájában. Az első 8 év folyamán fitotoxicitást 4-5 elem sója mutatott. Kiemelhető főbb új megállapítások az első évtizedben:

- Az arzenit formában adott As a maximális terhelésnél sem dúsult a növényi szövetekben, mindössze 1-2 ppm koncentrációt jelzett. Terméscsökkentő hatása csak a

későbbi években vált kifejezetté, különösen a borsó és a spenót túnt ki érzékenységgel. További vizsgálatokkal dönthető el, vajon az adott arzenit mérgezőbb arzenáttá alakulhatott-e a talajban. Kilúgzásnak lehet alávetve.

- A nagyobb Cd-terhelés (CdSO_4) toxikus hatása először a kísérlet 5. és 6. évében volt észlelhető a cékla és spenót növényen. Jelentős akkumulációt a leveles zöldségek mutattak 50-144 ppm maximumokkal, míg ugyanitt az első évben a kukorica szemtermésében nem tudtunk 1-2 ppm Cd-akkumulációt sem igazolni. Talajbani mozgása korlátozott, a kilúgzásnak ellenállt.

- A kromát formában adott Cr(VI) toxicitása a nagyobb terhelésnél totális volt az első években, majd fokozatosan mérséklődött. A Cr(VI) fokozatosan a kevésbé mérgező Cr(III) vegyületté alakult a talajban, illetve részben a mélyebb rétegekbe mosódott. A Cr az As elemhez hasonlóan nem dúsul a növényi szövetekben.

- A HgCl_2 kezelés depressziót csupán a sárgarépnánál okozott 1992-ben, melynek gyökerében 10-20 ppm maximális akkumulációt jelzett. Más növényfajoknál sem toxicitás, sem érdemi dúsulás nem lépett fel. A talajban megkötődött.

- A molibdenát formában adott Mo-terhelés a növények termését nem csökkentette, ugyanakkor minden növényfajnál extrém (több száz vagy több ezer ppm) felhalmozást idézett elő szinte minden növényi részben, a magtermésekben is. Kilúgzása nyomon követhető az egész talajszelvényben.

- A Se toxicitása minden évben kifejezett és igazolható volt, sőt az évekkel mérgező hatása a nagyobb terhelésnél totálissá vált. Az adott szelenit forma mérgezőbb szelenáttá alakult ezen a jól szellőzőtt karbonátos talajon. A Se esszenciális jellegére utal, hogy a Mo-hez hasonlóan extrém akkumulációt mutat minden növényi fajnál és a generatív szövetekben is. Kilúgzása nyomon követhető volt a talajprofilban, légköri elillanására a Se-kezelt parcellák fokhagymaszaga utalt.

Néhány mikroelem/szennyező mozgása a táplálékláncban

A talaj – növény - állat lánc összekapcsolt, együttes kísérletes vizsgálata számos nehézségbe ütközik. Ritka kivételtől eltekintve a szennyező elemekkel, toxikus nehézfémekkel végzett vizsgálatok tápoldatos és tenyészedény kísérleteket takarnak, amelyek nem adnak elégséges növényi anyagot a takarmányozási/etelési kísérletek számára. A szabadföldi kisparcellás terhelési kísérletek viszont rendkívül költségesek. Utóbbi igaz lehet a hosszú tartamú állatetelési kísérletekre is, melyeket sokirányú kórbonctani, kórlettani, anyagforgalmi vizsgálatokkal kell kiegészíteni. Másrészről a szennyező elemek egy része (As, Hg, részben a Pb, Cd) kevésbé akkumulálódik a takarmányul szolgáló növényi részben, így érdemi terhelési/anyagforgalmi vizsgálat sem végezhető el.

Talán a legnehezebb problémát jelentheti, hogy a hagyományos struktúrában elkülönül a talaj-növény, valamint a növény-állat rendszer kutatása, intézményei. A talaj –növény - állat rendszer együttes vizsgálata több kutatóhely, tudományszak tartós és harmonikus együttműködését feltételezi. Biztosítani kell a hosszú távú pénzügyi és személyi stabilitást, egyéni kutatói szabadságot és a team-munka vonzerejét, a megfelelő kísérleti és laboratóriumi háttérrel. Saját vizsgálataink során a szabadföldi terhelési kísérletben nyert növényi anyagot hasznosítottuk állatetelési kísérletekben az Állatorvostudományi Egyetem Takarmányozástani és más kapcsolódó tanszékeivel

közösen. A kísérletek kisállatokkal folytak (nyúl, csirke). A talaj, növény és az állati szervek elemzése az MTA TAKI ICP laboratóriumában történt.

1992-ben a sárgarépa gyökértermését hasznosítottuk takarmányként. A talaj, takarmány, nyúlszervek, bélsár és a vizelet analízise alapján összefoglalóan megállapítottuk, hogy a Cd és Pb mozgása nemcsak a talaj-növény rendszerben gátolt, hanem a növény-állat rendszerben is. Néhány ppm akkumulációt a máj és főként a vese mutatott, az izom (hús) és egyéb szervek nem szennyeződtek. Hg esetén a vesében extrém magas 50, a májban 3-4 ppm Hg koncentráció jelentkezett, egyéb szervek nem szennyeződtek. Mindhárom elem döntően a bélsárral távozott a szervezetből. A növények, illetve a tápláléklánc szennyeződése Pb és Cd elemekkel hazai termőhelyeink többségén (kivételt képezhetnek a savanyú homokok) nem a talajon, hanem döntően a légköri ülepedéssel történik. Ezzel szemben a Mo és Se nemcsak a talajban és a növényi felvétel során maradt mobilis, hanem az állati szervek mindegyikében nagyságrenddel dúsult. Főbb kutatási eredményeinket "A talaj – növény - állat ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon" c. könyvünk foglalta össze.

Javaslatok a tápláléklánc elemeinek védelmére:

Talaj. A talajban felhalmozódó elemek többségének mobilitását a pH jelentős mértékben szabályozza. Ahhoz, hogy a szennyezők a talajban megkötődjenek és a nemkívánatos növényi felvételt elkerüljük, hatékony eszköz lehet a savanyú talajok meszezése. Nem mérsékelhető azonban ilyen módon néhány aniont képező elem kikerülése a talajból, mint pl. a Mo, Se, Cr és részben az As. A talaj gazdagítása szerves anyagokkal elsősorban az organofil elemek (Mo, Se, Cu, Hg) visszatartását javíthatja. A meszezés és a megfelelő szervesanyag-gazdálkodás környezetvédelmi szempontból is indokoltá válhat egyes termőhelyeken. A termőhelyek, szennyezett talajok minősítésére talajvizsgálati határértékeket javasoltunk az eljáró hatóságok számára.

Növény. Az elemek akkumulációja fajonként és fajtánként genetikailag eltér. Ez a jelenség lehetővé teszi, hogy a közvetlen emberi fogyasztásra kerülő zöldségek és más növények esetén alacsony szennyezettségű típusokat szelektáljunk és vonjunk termesztésbe. A gyökér/ fiatal hajtás/levél/szár/szem csökkenő elemtartalma a növényben szűrő rendszert képez. A szem genetikailag védett a káros elem-dúsulásokkal szemben. (Kivétel: esszenciális mikroelemek egy része, mint a Mo, Se.) A szalmában, illetve a melléktermékben felvett szennyezők nem jutnak ki a talaj-növény rendszerből, amennyiben visszazántjuk a talajba. Ilyen módon a káros elemek forgalma egy nagyságrenddel csökkenthető, illetve a tápláléklánc terhelése mérsékelhető.

Állat. A fajonként eltérő elemfelvétel jelensége itt is fennáll és a távolabbi jövőben védelmi szűrőként funkcionálhat. Belső genetikai szűrőt jelent, hogy a szennyezők elsősorban a vesében, kisebb részben a májban és tüdőben halmozódnak fel. A fogyasztásra kerülő hús, tojás viszonylag védett és nagyságrenddel kevesebb szennyező elemet tartalmaz. A vesét (esetleg a májat és tüdőt) célszerű lesz hulladékként kezelni szennyezett vidékeken. A tejbe a káros elemek könnyebben bejutnak, a tej állandó ellenőrzést igényel a fogyasztó védelmében. Közlekedési utak mentén, szennyezett ipari körzetekben tejelő tehenek legeltetését kerülni kell.

Ember. Mivel a korrallal nő egyes szennyező elemek (főként a Cd) beépülése az állati szervekbe, előnyben kell részesíteni a fiatal állatok fogyasztását. A dohányzással jelentős mennyiségű Cd, Pb és más nehézfém kerül a tüdőbe, így nőhet a káros terhelése.

Közlekedési utak mellett, városi és szennyezett ipari vidékeken kerülni kell olyan házi kertek létesítését, ahol közvetlen fogyasztásra gyümölcsöt és zöldséget termelnek. A toxikus elemek talajbani mobilitását, valamint a növényi, állati és emberi szervezetbe való bejutását (felvételét, felszívódását) gátolják olyan "védő" elemek, mint a Ca, Mg, P, K. Az egész táplálékláncban biztosítani kell a kiegyensúlyozott Ca, Mg, P ellátottságot, mely kémiai mechanizmus útján megvéd az extrém dúsulásoktól. Hasonló szerephez juthat az egyes elemek közötti antagonizmus (pl. P-Zn, Zn-Cd, Ca-Cd stb.), mely terápiás célokra is alkalmazható.

Folyamatosan ellenőrizni kell a hazai talajok, növények (takarmányok, élelmiszerek), állati termékek összetételét, és ha szükséges, megakadályozni a szennyezett termékek forgalomba hozatalát. Nem elégséges a végterméket ellenőrizni, a gazdálkodás egészét, a technológiai láncszemeket is szabályozni kell. Ehhez megfelelő ismeretekre, hazai kutatási háttérre, határértékekre, szaktanácsadásra van szükség. Végző soron a szennyező forrásokat kell felszámolni, mint az ólmozott benzin árusítása, ipari üzemek légszennyező tevékenysége, ipari/kommunális/mezőgazdasági szennyvizek és szennyvíziszapok ellenőrizetlen kibocsátása, szakszerűtlen trágyázás és növényvédelem gyakorlata stb.

Részletes irodalomjegyzék nem mellékelhető, hiszen a taglalt 25 esztendő alatt több száz közlemény jelent meg az Agrokémiai és Növénytaplálási Osztály munkatársainak tollából. Főbb, átfogóbb tudományos közlemények döntően az Agrokémia és Talajtan, valamint a Növénytermelés című folyóiratban láttak napvilágot és a szakkörök előtt ismertek. Mindössze három összefoglaló munkára utalunk:

Sarkadi János (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest

Kádár Imre (1992): A növénytaplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest

Kádár Imre (1995): A talaj – növény – állat – ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM – MTA TAKI. Budapest

A P-előregedés vizsgálatának eredményei 22 év után

A foszfortrágyázás 22 éves utóhatása mészlepedékes csernozjom talajon

Bevezetés

A növények által fel nem vett foszfor a talajban akkumulálódik, növelve annak nemcsak összes, hanem könnyen oldható tápanyag-tartalmát is. Az intenzív műtrágyázás időszakában – 1970 és 1990 között – hazánkban országos átlagban csaknem kétszer annyi foszfor került a talajba, mint amennyit a terméssel kivontunk. Becslések szerint az 1960-as évekhez viszonyítva az 1990-es évek elejére talajaink hektáronként átlagosan mintegy 800 kg P₂O₅-mennyiséggel gazdagodtak (CSATHÓ & RADIMSZKY, 2005), melynek következtében talajaink mintegy kétharmada, háromnegyede foszforral jól, ill. igen jól ellátottá vált (BARANYAI et al., 1987; BUZÁSÉ et al., 1988).

1990 és 2000 között azonban – amely időszakban drasztikusan visszaesett a hazai P-műtrágya-használat – az évszázad legnegatívabb (-15, -20 kg P₂O₅·ha⁻¹ értékkel jellemezhető) P-mérlegét regisztrálhattuk (CSATHÓ & RADIMSZKY, 2005). Termesztett növényeink P-szükségletét a talaj természetes P-szolgáltatásán túl a korábbi intenzív P-műtrágyázás utóhatása biztosította. Ezek a tartalékok azonban végesek: a növényi P-felvétel, valamint a P-megkötődés következtében a P-kínálat egyre csökken.

A makrotápelemek utóhatása közül a talajban mozgékony, kimosódásra, volatilizációra, ill. denitrifikációra hajlamos nitrogéné a legrövidebb (VAN DER PAAUW, 1963; BEAUCHAMP, 1987; HERGERT, 1987; NÉMETH & BUZÁS, 1991a,b; NÉMETH, 1996; BIRCSÁK et al., 2005; CSATHÓ et al., 2005). A kálium közepes utóhatásokkal jellemezhető (KÁDÁR et al., 1989, 1991; CSATHÓ, 2002, 2005). A legtartósabb utóhatásokra a foszfor esetében számíthatunk, egyes kísérletekben 40–50 éves utóhatásokat is regisztráltak (SARKADI & KÁDÁR 1974; NÉMETH, 1985; KÁDÁR et al., 1984; KÁDÁR & CSATHÓ, 1985; JOHNSTON et al., 1986; HOLLÓ et al., 1991; ÁRENDÁS & SARKADI, 1995; THAMMNÉ, 1996; CSATHÓ & KÁDÁR, 2003).

Ugyanakkor a foszfor utóhatása is jelentősen változhat a talajtulajdonságok, a növényfaj, a korábbi P-műtrágya adagja és időzítése, az évjárat stb. függvényében (KERPELY, 1925; THAMMNÉ, 1996; SHARPLEY, 2000). A nagy agyagtartalmú, savanyú kémhatású talajok P-megkötése jóval nagyobb, mint a laza, semleges kémhatásúaké. P-utóhatás kísérletünk talaja az utóbbi csoportba sorolható. A P-igényes növények (kalászosok, lucerna stb.) nagyobb utóhatásokat mutathatnak, mint a foszforra kevésbé igényesek (kukorica, rostonövények, napraforgó, szója stb.). 22 éves szabadföldi P-utóhatás kísérletünkben rendre P-igényes növények szerepeltek tesztnövényként.

Anyag és módszer

Szabadföldi tartamkísérletünket 1972 őszén Kádár Imre állította be az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén. A kísérleti terület az Alföld nagytájának Dunántúlra eső Mezőföld tájában helyezkedik el, mégpedig a Nyugat-Mezőföld „Bozót-Sárvíz közti löszhát” geomorfológiai tájrészében, mintegy 140 m tengerszint feletti magasságban. Talajképző kőzete a tekintélyes vastagságú lösz, mely helyenként a 15–20 m-t is eléri. Hidrológiai és éghajlati viszonyai, kevésbé felhős időjárása, napsütéses óráinak száma,

nagyobb hőmérséklet-ingadozása, viszonylagos csapadékszegénysége, nyári időben aszályosságra való hajlama a Nagyalföld tájaihoz teszi hasonlóvá.

A mészlepedékes csernozjom talaj szántott rétegének főbb jellemzői: CaCO_3 : 5%; humusz: 2,5%; K_A : 37; $\text{pH}(\text{KCl})$: 7,4; AL-P: 60–80 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$; AL-K: 140–160 $\text{mg K}_2\text{O} \cdot \text{kg}^{-1}$; EDTA-Zn: 1–2 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$; EDTA-Cu: 2–4 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. Új, környezetkímélő trágyázási szaktanácsadási rendszerünk határértékei alapján ezek az adatok az eredeti talaj igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint igen gyenge-gyenge P- és Zn-ellátottságról tanúskodnak (KÁDÁR et al. 1984).

Műtrágyaként 25–28%-os pétisót, 40–60%-os kálisót és 18%-os szuperfoszfátot alkalmaztunk. A P- és K-műtrágyákat, valamint a nitrogén felét ősszel szántás előtt, míg a nitrogén másik felét tavasszal fejtrágyaként juttattuk a talajba. Az alaptrágyázás szintje N: 200 $\text{kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$, K: 100 $\text{kg K}_2\text{O} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt. Előveteményül 5 éves lucerna szolgált. A kísérlet első 8 évében őszi búza, a 9. évben köles, a 10–12. években lucerna, a 13. évben tavaszi árpa, a 14–22. években újra őszi búza szerepelt jelzőnövényként. A kísérletet 9 P-kezeléssel, 12 ismétlésben, összesen 108 (egyenként $11 \times 3,5 = 38,5 \text{m}^2$ bruttó, ill. $11 \times 2,2 = 22 \text{m}^2$ nettó területű) parcellával állítottuk be. A melléktermés valamennyi évben lekerült a területről.

A kísérlet trágyázási tervét az 1. táblázat szemlélteti. 1972 őszén 0, 120, 240, 360, 480, 600 és 720 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ szuperfoszfátadagokkal különböző P-szinteket alakítottunk ki, és megvizsgáltuk a P-trágyázás utóhatását. Annak megállapítására, hogy a két-, négy-, hat-, nyolc-, ... húszéves utóhatás mekkora adagú frissen kiadott szuperfoszfát hatásával egyenértékű, a – 12 ismétléses kísérlet párhuzamos parcelláit felhasználva – 1974-től 1990-ig kétévenként 0, 40, 80 és 120 $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ szuperfoszfátadaggal felültrágyáztuk a parcellákat az 1. táblázatban látható módon. 1990-re így 36 különböző P-kezeléssel rendelkezünk, és az ismétlések száma háromra csökkent.

1. táblázat A nagyhörccsöki mészlepedékes csernozjom talajon 1972-ben beállított tartamkísérletben alkalmazott P-kezelések ($\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$), illetve a trágyázási terv

(1) Feltöltő P- trágyázás 1972 őszén	(2) Friss P-trágyázás szintje				(3) Friss P- trágyázás időpontja
	A	B	C	D	
–	–	40	80	120	1974 őszén
40	–	40	80	120	1976 őszén
80	–	40	80	120	1978 őszén
120	–	40	80	120	1980 őszén
240	–	40	80	120	1982 őszén
360	–	40	80	120	1984 őszén
480	–	40	80	120	1986 őszén
600	–	40	80	120	1988 őszén
720	–	40	80	120	1990 őszén

Korábbi megfigyeléseink szerint őszi búza monokultúrában – különösen a csapadékosabb években – fuzárium-, lisztharmat-, hesseni légy- stb. fertőzés lephet fel. Bár a fertőzés itt az egész kísérletben jelentkezett, elsősorban mégis a P-hiányos,

nitrogénnel és káliummal egyoldalúan műtrágyázott parcellák növényállományában okozott kárt. Szükség szerint vegyszeres gyomirtást és talajfertőtlenítést is végeztünk, így a P-kontrollparcellák ritkább állománya sem vált nagyon gyomossá. A monokultúra sikeres fenntartása érdekében több esetben fajtacseréhez folyamodtunk. A vetés, növényápolás, betakarítás az üzemekben szokásos agrotechnikával történt.

A vizsgált időszakban 1973, 1976, 1979, 1982, 1990 és 1992 az átlagosnál szárazabb, míg 1974 és 1975 az átlagosnál csapadékosabb évek voltak.

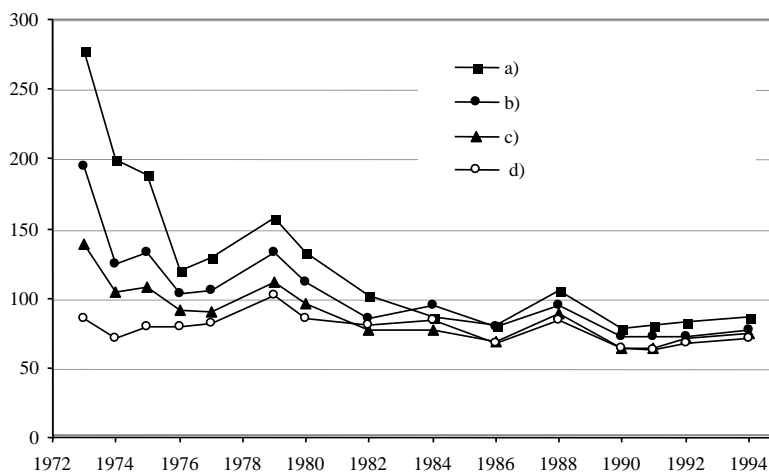
Aratás után a tarlóhántást követően a nettó parcellák szántott rétegéből 20-20 pontminta egyesítésével évente átlagmintákat vettünk, melyekben szárítás és homogenizálás után a könnyen oldható P-tartalmat AL-módszerrel (EGNER et al., 1960) vizsgáltuk.

Terméselemzés céljaira aratás előtt, teljes érésben, a nettó parcellákon 4-4 folyóméter felhasználásával növénymintákat vettünk minden évben. Az AL-oldat P-tartalmát aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel (SARKADI et al., 1965), a növények P-tartalmát kénsav-peroxidos roncsolás után (THAMMNÉ, 1973) ammónium-molibdo-vanadátos módszerrel Spekol spektrofotométerrel határoztuk meg (THAMMNÉ et al., 1968).

Kísérleti eredmények és értékelésük

A P-műtrágyázás utóhatása a talaj könnyen oldható P-tartalmára

A P-műtrágyázás utóhatását a talaj AL-oldható P-tartalmára az 1. ábrán tanulmányozhatjuk.



1. ábra

A nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talaj AL-oldható P-tartalmának változása a tartamkísérletben 1972 és 1994 között. Jelmagyarázat: a) 720; b) 480; c) 240; d) 0 kg P₂O₅·ha⁻¹ 1972 őszén. Független tengely: AL-P, mg·kg⁻¹ P₂O₅

A feltöltő P-trágyázást követően négy éven keresztül erőteljesen csökkent az AL-P mennyisége, melyet hároméves egyensúly követett ezen a meszes, könnyű vályog, a foszfort gyengén megkötő talajon. Ezt egy hároméves újabb, de már mérsékelt P-fixációs, majd újabb hatéves egyensúlyi szakasz követte. A P-kontroll és a legnagyobb ($720 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$) adagú kezelés AL-oldható P-tartalma között a különbség az első év után $190 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$ volt, amely a 2. évben 130-ra csökkent, majd a 3. évben 110-re, a 4. és 9. év között 40 és 50 közöttire, valamint a 10. évet követően 10 és $20 \text{ mg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{kg}^{-1}$ közöttire.

A P-műtrágyázás utóhatása a főtermékek mennyiségére

A $240 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ adag utóhatása négy évig, a $480 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ adagé hat évig, a $720 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ adag nyolc évig biztosított kielégítő, nagy termésszinteket lehetővé tevő P-ellátottságot az őszi búzáknak ($1,2\text{-}1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ terméstöbbletek) (2. táblázat).

2. táblázat A P-műtrágyázás utóhatása a főtermékek (szem/széna) mennyiségére [gabonaegység (GE) $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$, 4-4 év átlaga] a nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérletben az 1973 és 1994 közötti időszakban

(1) Feltöltő P- trágyázás, $\text{kg P}_2\text{O}_5 \cdot \text{ha}^{-1}$ 1972 őszen	(2) Főtermés(szem/széna)mennyisége			(2) Főtermés (szem/széna) mennyisége		
	GE $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	D $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	D %	GE $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	D $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$	D %
	<i>1973–1976: 4 év őszi búza</i>			<i>1977–1980: 4 év őszi búza</i>		
0	3,27	–	100	3,24	–	100
240	4,65	1,38	142	4,14	0,90	128
480	4,88	1,61	149	4,55	1,31	140
720	4,84	1,57	148	4,76	1,52	147
a) SzD _{5%}	0,17	0,17	5	0,19	0,19	6
b) Átlag	4,41	1,52	146	4,17	1,24	138
	<i>1981–1984: köles + 3 év lucerna</i>			<i>1985–1988: tavaszi árpa+3 év őszi búza</i>		
0	2,86	–	100	2,21	–	100
240	3,02	0,16	106	2,32	0,11	105
480	3,23	0,37	113	2,58	0,37	117
720	3,42	0,56	120	2,92	0,71	132
a) SzD _{5%}	0,14	0,14	5	0,15	0,15	6
b) Átlag	3,13	0,36	113	2,51	0,40	118
	<i>1989–1992: 4 év őszi búza</i>			<i>1993–1994: 2 év őszi búza</i>		
0	2,65	–	100	2,02	–	100
240	2,78	0,14	105	1,86	-0,16	92
480	3,13	0,49	118	1,92	-0,10	95
720	3,30	0,65	125	1,92	-0,10	95
a) SzD _{5%}	0,38	0,38	14	0,13	0,13	6
b) Átlag	2,96	0,43	116	1,93	-0,12	94

Megjegyzés: D: a terméstöbbletben, illetve relatív termésben kifejezett P-utóhatások

Bár egyre alacsonyabb termésszinteken, de a P-trágyázás utóhatása a 9. és 20. évek között is mérhető volt: 0,1-0,2; 0,4-0,5 és 0,6-0,7 t·ha⁻¹ a 240, 480 és 720 kg P₂O₅·ha⁻¹ adagnál. A 21. és 22. években ugyanakkor már nem regisztráltunk P-utóhatást ezen a könnyű, karbonátos csernozjom, a foszfort gyengén megkötő talajon. A köles nem mutatott P-utóhatást a 9. évben (0,1-0,2 t·ha⁻¹ szemterméstöbblet). A lucerna 10-12. évi utóhatása átlagosan 1,5 t·ha⁻¹ szénaterméstöbbletben realizálódott. A tavaszi árpa a 13. évben csak csekély (0,3 t·ha⁻¹) utóhatást jelzett (2. táblázat).

A 4-4 éves, gabonaegységben kifejezett átlagtermések 4,4; 4,2; 3,1; 2,5; 3,0 és 2,9 t·ha⁻¹-nak adódtak az idő függvényében, jelezve a növényi P-felvétel és a foszfor megkötődése eredményeképpen egyre romló P-kínálatot (2. táblázat).

A 4-4 éves átlagos terméstöbbletben kifejezett P-utóhatások 1,5; 1,2; 0,4; 0,4; 0,4 és -0,1 t·ha⁻¹, a relatív termésben kifejezett P-utóhatások 46; 38; 13; 18; 16 és -6% értékekkel voltak jellemezhetőek (2. táblázat).

A P-műtrágyázás utóhatása a föld feletti terméssel felvett foszfor mennyiségére

3. táblázat A P-műtrágyázás utóhatása a föld feletti terméssel felvett foszfor mennyiségére (kg P₂O₅·ha⁻¹, 4-4 év átlaga) a nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérletben az 1973 és 1994 közötti időszakban

(1) Feltöltő P- trágyázás, kg P ₂ O ₅ ·ha ⁻¹ 1972 őszen	(2) Föld feletti terméssel felvett foszfor mennyisége			(2) Föld feletti terméssel felvett foszfor mennyisége		
	kg P ₂ O ₅ · ha ⁻¹	D kg·ha ⁻¹	D %	kg P ₂ O ₅ · ha ⁻¹	D kg·ha ⁻¹	D %
	<i>1973–1976: 4 év őszi búza</i>			<i>1977-1980: 4 év őszi búza</i>		
0	26,6	–	100	26,4	–	100
240	44,8	18,2	168	34,1	7,7	129
480	51,9	25,3	195	41,6	15,2	158
720	53,2	26,6	200	44,8	18,4	170
a) SzD _{5%}	0,7	0,7	3	0,7	0,7	3
b) Átlag	44,1	23,4	188	36,7	13,8	152
	<i>1981–1984: köles + 3 év lucerna</i>			<i>1985–1988: tavaszi árpa + 3 év őszi búza</i>		
0	24,3	–	100	19,2	–	100
240	28,0	3,7	115	20,4	1,2	106
480	30,4	6,1	125	22,2	3,0	116
720	36,2	11,9	149	26,4	7,2	138
a) SzD _{5%}	0,8	0,8	3	0,9	0,9	5
b) Átlag	29,7	7,2	130	22,0	3,8	120
	<i>1989–1992: 4 év őszi búza</i>			<i>1993–1994: 2 év őszi búza</i>		
0	17,2	–	100	12,4	–	100
240	19,0	1,8	110	13,1	0,7	106
480	20,4	3,2	119	13,8	1,4	111
720	24,0	6,8	140	14,9	2,5	120
a) SzD _{5%}	1,1	1,1	6	0,7	0,7	6
b) Átlag	20,2	3,9	121	13,6	1,5	112

Megjegyzés: D: a felvett P-többletben, illetve relatív P-felvételben kifejezett P-utóhatások

A föld feletti terméssel felvett foszfor mennyiségével kifejezett P-utóhatások a főtermésekben mért P-utóhatásoktól eltérő tendenciákat mutattak. Feltűnő különbség, hogy különösen az első négyéves ciklusban, de a második és harmadik ciklusban is a felvett foszfor mennyiségében kifejezett P-utóhatások nagyobbak voltak, mint a főtermésekben kifejezett P-utóhatások. A negyedik, ötödik és hatodik négyéves ciklusban viszont a P-felvételben kifejezett P-utóhatások és a terméstöbbletben mérték már hasonlóak voltak (3. táblázat).

A 4-4 éves átlagos P-felvétel 44; 37; 30; 22; 20 és 14 kg P₂O₅·ha⁻¹ volt, jelezve a csökkenő P-kínálatot (3. táblázat). A P-kontroll esetében kivont foszfor mennyisége ugyanakkor az első három ciklusban állandó, mintegy 25 kg P₂O₅·ha⁻¹ volt.

A 4-4 éves átlagos P-felvétel többletben kifejezett P-utóhatások 23; 14; 7; 4; 4 és 2 kg P₂O₅·ha⁻¹-nak adódtak, a relatív P-felvételben kifejezett P-utóhatások 88; 52; 30; 20; 21 és 12% értékekkel voltak jellemezhetőek. Az első négy ciklusban tehát négyévente gyakorlatilag feleződtek a P-felvételben kapott P-utóhatások (3. táblázat).

A „friss” P-trágyázás hatása a főtermések mennyiségére

A minden második évben egy, a következő régi P-szinten egy ízben adott „friss” 40, 80 és 120 kg P₂O₅·ha⁻¹ műtrágyaadagok az őszi búzában általában 1,0–1,5 t·ha⁻¹ szem-, a lucernában 2,0–2,5 t·ha⁻¹ széna-, a tavaszi árpában 1,5 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletet eredményeztek. A köles termését csak minimálisan növelte a „friss” P- műtrágyázás: 0,2 t·ha⁻¹ szemterméstöbbletetet regisztrálhattunk (4. táblázat).

A P-utóhatás kísérlet első nyolc évében „friss” P-trágyázással még nem tudtuk meghaladni az 1972 őszi legnagyobb feltöltő P-adagok utóhatását, tehát a kísérlet első nyolc évében ezen adagok utóhatása még biztosította az őszi búza maximális P-igényét. A kilencedik–tizedik évtől azonban a legnagyobb „friss” P-adag (120 kg P₂O₅·ha⁻¹) hatása már rendre meghaladta a legnagyobb feltöltő P-szint (720 kg P₂O₅·ha⁻¹) utóhatását. Ez azt is jelenti, hogy a 9–10. évtől már a legnagyobb feltöltő P-adag utóhatása sem volt képes az itt elért legjobb termés P-igényét biztosítani.

A talaj P-ellátottsága már itt is a korábbi jó–igen jó ellátottságról közepes ellátottságra süllyedt. Mivel az intenzív, talajgazdagító P-trágyázás időszakában (1970 és 1990 között) hazánkban országos átlagban mintegy 800–900 kg P₂O₅·ha⁻¹-ral egyenértékű foszformennyiséggel gyarapodtak talajaink, jelentős P-utóhatásokra számíthatunk. Az elmúlt több mint húsz évben azonban csak minimális P-műtrágyázás volt Magyarországon (5–10 kg P₂O₅·ha⁻¹). Feltételezhetjük, hogy egyre nagyobb területeken a korábbi P-trágyázás utóhatása már nem képes biztosítani a P-igényes kalászosok P-szükségletét (NÉMETH et al., 2010).

4. táblázat A „friss” P-műtrágyázás hatása a szem-, ill. szénatermésre ($t \cdot ha^{-1}$) a nagyhorcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérletben az 1975 és 2002 közötti időszakban

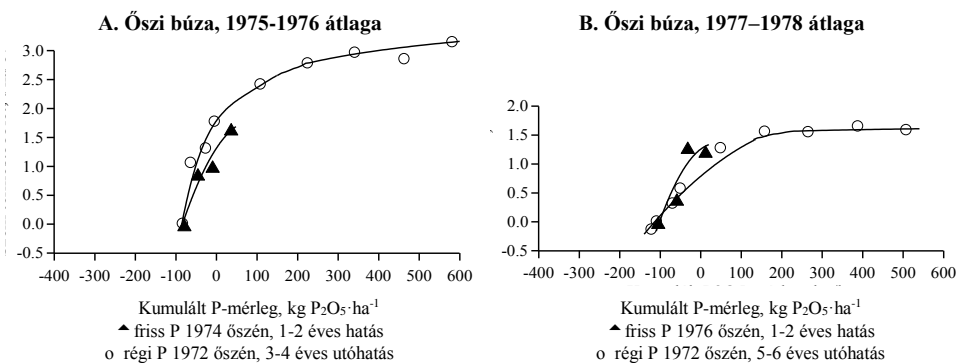
(1) Évek	(2) „Friss” P-műtrágyázás, $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$						(5) Megjegyzés
	0	40	80	120	(3) SzD _{5%}	(4) Átlag	
<i>A. „Régi” 0 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1974 őszén (őszi búza)</i>							
1975	1,37	2,70	2,62	2,95	1,00	2,41	első évi hatás
1976	2,07	2,49	2,84	3,80	0,85	2,80	második évi hatás
a) Átlag	1,72	2,60	2,73	3,38	0,66	2,60	
<i>B. „Régi” 40 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1976 őszén (őszi búza)</i>							
1977	3,10	3,33	4,38	4,15	1,13	3,74	első évi hatás
1978	4,00	4,57	5,31	5,41	0,97	4,82	második évi hatás
a) Átlag	3,55	3,95	4,84	4,78	0,75	4,28	
<i>C. „Régi” 80 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1978 őszén (őszi búza)</i>							
1979	1,60	2,59	2,53	2,89	0,49	2,67	első évi hatás
1980	4,54	5,46	5,80	5,99	0,76	5,75	második évi hatás
a) Átlag	3,07	4,02	4,16	4,44	0,45	4,21	
<i>D. „Régi” 120 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1980 őszén (köles, lucerna)</i>							
1981	1,76	1,78	1,76	1,97	0,58	1,82	első évi hatás
1982	5,43	5,56	5,95	5,93	0,53	5,72	második évi hatás
a) Átlag	3,60	3,67	3,86	3,95	0,39	3,77	
<i>E. „Régi” 240 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1982 őszén (lucerna)</i>							
1983	9,96	10,76	11,25	12,37	1,87	11,08	első évi hatás
1984	5,81	6,16	6,34	8,11	1,15	6,60	második évi hatás
a) Átlag	7,88	8,46	8,80	10,24	1,10	8,84	
<i>F. „Régi” 360 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1984 őszén (tavaszi árpa, őszi búza)</i>							
1985	3,11	3,99	4,22	4,64	0,57	3,99	első évi hatás
1986	2,33	2,77	3,21	3,39	0,66	2,92	második évi hatás
a) Átlag	2,72	3,38	3,72	4,02	0,44	3,46	
<i>G. „Régi” 480 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1986 őszén (őszi búza)</i>							
1987	3,10	3,05	3,70	3,39	1,11	3,31	első évi hatás
1988	1,15	1,29	2,49	2,49	0,93	1,86	második évi hatás
a) Átlag	2,12	2,17	3,10	2,94	0,72	2,58	
<i>H. „Régi” 600 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1988 őszén (őszi búza)</i>							
1989	3,33	3,37	4,14	4,48	1,07	3,83	első évi hatás
1990	2,90	2,82	2,92	4,14	0,88	3,20	második évi hatás
a) Átlag	3,12	3,10	3,53	4,31	0,69	3,52	
<i>I. „Régi” 720 $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ 1972 őszén; „Friss” P-trágyázás 1990 őszén (őszi búza)</i>							
1991	2,96	3,59	4,42	5,10	1,13	4,02	első évi hatás
1992	3,85	3,79	4,20	4,54	0,68	4,10	második évi hatás
a) Átlag	3,40	3,69	4,31	4,82	0,66	4,06	

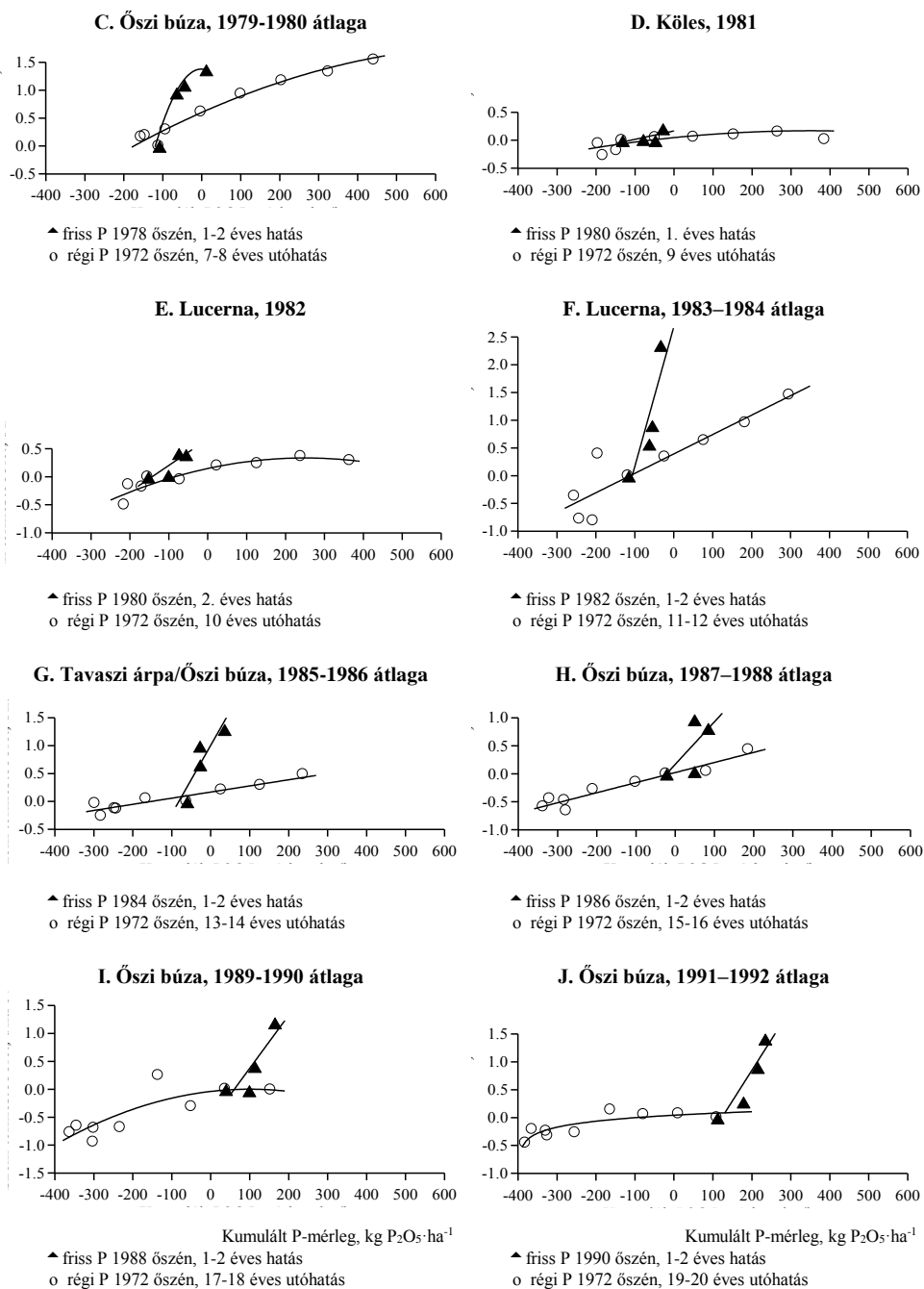
A P-trágyázás utóhatásának „friss” P egyenértéke

A korábbi P-műtrágyázás „friss” P egyenértékét az azonos P-mérleg tartományban a főterméstöbbletek alapján határoztuk meg (2. ábra, 5. táblázat).

A számítás az alábbiak szerint történt: A 40, 80 és 120 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ „friss” adagoktól az Y tengellyel párhuzamosan az azonos P-mérleg értéknél a „rég” P görbét metszettük. A metszéspontnál leolvastuk a „rég” P hatására kapott terméstöbbleteket. A három „friss” P-szint terméstöbbletét és az ugyancsak három „rég” P terméstöbbletét átlagoltuk, majd a „rég” P átlagos terméstöbbletét a „friss” P átlagos terméstöbbletének százalékában is kifejeztük. Ily módon kaptuk meg a „rég” P utóhatásainak „friss” P egyenértékét (2. ábra, 5. táblázat).

Az évek során a P-trágyázás utóhatásának „friss” P egyenértéke fokozatosan lecsökkent. A 3–4. éves P-utóhatás „friss” P egyenértéke még meghaladta a 100%-ot (126%), feltehetően a P-műtrágyának a többszöri talajmunkával való jobb elkeveredése következtében. Az 5–6. éves P-utóhatás már csak 61%-át, a 7–8. éves a 37%-át, a 9–10. éves a 33%-át érte el a „friss” P hatásának. A későbbiekben a „rég” P-műtrágyázás utóhatása egy alacsony szinten stabilizálódott: a 11–20. évi P-utóhatások már csupán 5–17%-át érték el a „friss” P hatásoknak (5. táblázat). A „rég” P-műtrágyázás „felezési ideje”, hatásának felére csökkenése 3–4 évre volt tehető. Mérsékelt övi, kontinentális klíma alatt a korábbi P-trágyázás utóhatásának csökkenését a növényi P-felvétellel és a P-műtrágya megkötődésével magyarázhatjuk. A feltöltő 720 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ trágyázásnak még a 19–20. évi utóhatása is kimutatható (0,6–0,7 t $\cdot ha^{-1}$ szemterméstöbblet) volt (2. ábra, 5. táblázat).





2. ábra

A P-trágyázás utóhatásának és a „friss” P-trágyázás hatásának összehasonlítása az azonos P-mérleg tartományokban a nagyhorcsóki mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérletben az 1973 és 1992 közötti időszakban

5. táblázat A foszfor utóhatások „friss” P egyenértéke a 2-2 éves átlagos főtterméstöbbletek alapján az azonos P-mérleg tartományban (a 2. ábra alapján számolva) a nagyhőrcsöki mészlepedékes csernozjom talajon beállított tartamkísérletben az 1973 és 1992 közötti időszakban

(1) „Friss” P hatása év	(2) „Régi” P utóhatása, év	(3) Évek	(4) Növény	(5) Átlagos szem-/szénaterméstöbblet			
				t·ha ⁻¹		%	
				„Friss” P	„Régi” P	„Friss” P	„Régi” P
1–2	–	1973-74	a) őszi búza	0,50	–	100	–
1–2	3–4.	1975-76	a) őszi búza	1,18	1,49	100	126
1–2	5–6.	1977-78	a) őszi búza	0,98	0,60	100	61
1–2	7–8.	1979-80	a) őszi búza	1,14	0,42	100	37
1–2	9–10.	1981-82	b) köles/lucerna	0,20	0,06	100	33
1–2	11–12.	1983-84	c) lucerna	1,27	0,22	100	17
1–2	13–14.	1985-86	d) tavaszi árpa/ őszi búza	0,98	0,10	100	10
1–2	15–16.	1987-88	a) őszi búza	0,70	0,06	100	9
1–2	17–18.	1989-90	a) őszi búza	0,50	0,03	100	6
1–2	19–20.	1991-92	a) őszi búza	0,87	0,04	100	5

A műtrágya-P talajbani megkötődésének vizsgálata

A P-utóhatások „friss” P egyenértékét a P-mérleg segítségével a talajvizsgálati eredményekből is becsülhetjük. Az AL-P-tartalmak megmutatják, hogy műtrágyázás hatására hogyan alakult a könnyen oldható P-tartalom az egyes „régi” P-kezelésekben, és ezek az értékek mennyiben függenek a műtrágyázás idejétől (6. táblázat).

A P-mérleg és az AL-oldható P-tartalom összefüggését leíró egyenletek paramétereit a 6. táblázatban foglaltuk össze. Az összefüggés valamennyi esetben lineáris, és a legtöbbszor nagyon szoros. A táblázatban a 100**b** értékek azt mutatják, hogy hektáronként 100 kg talajban maradt műtrágya-P₂O₅ hány mg·kg⁻¹ AL-P₂O₅ növekedést idéz elő a talajban. A 10**b** mutató a 10 mg·kg⁻¹ AL-P₂O₅-növeléshez szükséges talajban maradt műtrágyaigényt fejezi ki kg P₂O₅·ha⁻¹-ban (6. táblázat).

Az adatokból megállapítható, hogy a műtrágyázást követő első évben gyakorlatilag a műtrágya-P teljes mennyisége AL-oldható formában volt. (A 20–30 cm-es szántott rétegben átlagosan 1,5 kg·dm⁻³ térfogattömeggel számolva mintegy 30 kg P₂O₅·ha⁻¹-os P-adaggal értünk el 10 mg·kg⁻¹ AL-P₂O₅ növekedést). A 2–3. évben a talajban maradt műtrágya-foszforok mintegy fele, a 4–8. évig 1/3-a–1/4-e, a 10. évben már csupán 1/5-e mutatható ki AL-oldható formában. A kísérlet 12. és 20. éve között – bizonyos szórásokat mutatva – a talajban maradt műtrágya-P-nak már csak töredéke (1/7-e, 1/13-a) volt AL-oldható, az egyre erőteljesebb P-megkötődés következtében. A műtrágya-P megkötődése, oldhatóságának csökkenése következtében egyre nagyobb talajban maradt P-mennyiségekre van szükség a talaj könnyen oldható P-tartalmának egységnyi növeléséhez (KAMPRATH & WATSON, 1980).

6. táblázat A P_2O_5 -mérleg és az AL- P_2O_5 értékek összefüggését leíró lineáris egyenletek ($y = a + bx$) paraméterei (Nagyhörcsöki mészeledékes csernozjom talajon beállított tartamkísérlet, 1973 és 1992 közötti időszak)

(1) Évek	(2) Kísérlet kora, év	a	$100 \cdot b^*$	$100 \cdot b$ %-ban	$10/b^{**}$	R
1973	1.	89	27,2	100	37	0,99
1974	2.	82	15,2	56	66	0,95
1975	3.	91	15,9	58	63	0,99
1976	4.	84	7,5	27	134	0,97
1977	5.	86	8,5	31	117	0,98
1978	6.	99	8,0	28	125	0,99
1979	7.	115	9,2	34	109	0,99
1980	8.	102	8,2	30	123	0,97
1982	10.	86	5,4	20	186	0,91
1984	12.	85	2,2	8	455	0,62
1986	14.	78	3,5	13	285	0,89
1988	16.	97	3,8	14	262	0,99
1990	18.	74	3,1	11	323	0,97
1991	19.	76	3,7	13	273	0,98
1992	20.	76	2,1	8	483	0,69

Megjegyzés: *hektáronként 100 kg talajban maradt műtrágya- P_2O_5 okozta mg AL- $P_2O_5 \cdot kg^{-1}$ növekedés a talajban; ** Az AL- P_2O_5 -tartalom 10 $mg \cdot kg^{-1}$ -os növeléséhez szükséges műtrágya mennyisége, $kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ (feltöltés fajlagos műtrágyaigénye)

Az „a” értékének változása az AL-P-tartalomban megnyilvánuló „évhatasokat” jelzi. Száraz években pl. nagyobb lehet a kísérlet átlagos AL-P-tartalma. Természetesen az évhatasoknál jóval jelentősebb a nagyadagú P-trágyázás, ill. az évek során a P-megkötődés, valamint növényi P-felvétel okozta AL-P változás.

A P-műtrágyázás hatékonyságának vizsgálatokor tanulságos lehet a P-műtrágya érvényesülési %-ának ismerete is. A kísérlet 22. éve után az adott $240 kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ P-adag 53%-a, a $480 kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ adag 43%-a, míg a $720 kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ adag 36%-a érvényesült a P-kontroll (NK) parcelláknál mért P-felvételen (a talaj természetes P-szolgáltatásán) felül.

A P-trágyázási terv készítése során a talaj P-ellátottságára, a foszfor megkötődését befolyásoló talajtulajdonságokra (kötöttség, pH, mészállapot stb.), ill. a P-műtrágya árára is tekintettel kell lennünk. A jelenlegi gazdasági környezetben még a foszfort kevésbé megkötő talajokon sem célszerű 2–3 évnél hosszabb időszakra P-előretrágyázni (HOLLÓ et al., 1991).

Összefoglalás

Szabadföldi 22 éves, split-plot elrendezésű, 12 ismétléses P-utóhatás tartamkísérletünket az MTA TAKI Nagyhörcsöki Kísérleti Telepén – foszforral eredetileg gyengén ellátott mészeledékes csernozjom talajon – 0, 120, 240, 360, 480, 600 és $720 kg P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ feltöltő P-adagokkal 1972 őszi állítottuk be. A kísérlet első 8 évében őszi búza, a 9. évben köles, a 10–12. években lucerna, a 13. évben tavaszi árpa, a 14–22.

években ismét őszi búza szerepelt jelzőnövényként. A kísérlet felépítése lehetővé tette, hogy az 1972 őszén kialakított „rég” P-szinteken (amelyek az utóhatás-kísérletet képezték), a műtrágya-P értékcsökkenését szabatosan megfigyelhessük az idő függvényében. Annak megállapítására, hogy a két-, négy-, hat-, nyolc- ... húszéves utóhatás mekkora adagú frissen kiadott szuperfoszfát hatásával egyenértékű – a 12 ismétléses kísérlet párhuzamos parcelláit felhasználva –, a növekvő „rég” P-szinteken 1974-től 1990-ig két évente 0, 40, 80 és 120 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ szuperfoszfátadaggal felültrágyáztuk a parcellákat. 1990-re így 36 különböző P-kezeléssel rendelkezünk, és az ismétlések száma háromra csökkent.

A feltöltő P-trágyázást követően négy éven keresztül erőteljesen csökkentek az AL-P-tartalmak, melyet hároméves egyensúly követett ezen a karbonátos, könnyű vályog, a foszfort gyengén megkötő talajon. Ezt egy hároméves újabb, de már mérsékelt P-fixációs, majd újabb hatéves egyensúlyi szakasz követte.

A 240, 480 és 720 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ adagok utóhatásai négy, hat, illetve nyolc évig biztosítottak kielégítő, nagy termésszinteket lehetővé tevő P-ellátottságot az őszi búzának (1,2–1,5 t ha^{-1} termésszintek). Bár egyre alacsonyabb termésszinteken, de a P-trágyázás utóhatása a 9. és 20. évek között is mérhető volt.

Az évek során a P-trágyázás utóhatásának „friss” P egyenértéke fokozatosan lecsökkent. A „rég” P-műtrágyázás „felezési ideje”, hatásának felére csökkenése 3–4 évre volt tehető. Mérsékelt övi, kontinentális klíma alatt a korábbi P-trágyázás utóhatásának csökkenését a növényi P-felvétellel és a P-műtrágya megkötődésével magyarázhatjuk.

Az idő múlásával a P-mérleg szerint a talajban maradó műtrágya-P egyre kisebb része volt a növény számára felvehető, ill. AL-oldható formában, a vízdoldható monokalcium-foszfátoknak egyre kevésbé oldható kalcium-foszfátokká való átalakulása, az egyre erőteljesebb P-megkötődés következtében.

A P-műtrágyázás hatékonyságának vizsgálatok tanulságos lehet a P-műtrágya érvényesülési %-ának ismerete is. A kísérlet 22. éve után az adott 240, 480 és 720 kg $P_2O_5 \cdot ha^{-1}$ P-adag 53, 43 és 36%-a érvényesült a P-kontroll (NK) parcelláknál mért P-felvételen (a talaj természetes P-szolgáltatásán) felül.

A P-trágyázási terv készítése során a talaj P-ellátottságára, a foszfor megkötődését befolyásoló talajtuladományokra (kötöttség, pH, mészállapot stb.), ill. a P-műtrágya árára is tekintettel kell lennünk. A jelenlegi gazdasági környezetben még a foszfort kevésbé megkötő talajokon sem célszerű 2–3 évnél hosszabb időszakra P-előretrágyázni.

Kulcsszavak: Korábbi P-trágyázás friss P-egyenértéke, termés, P-felvétel, AL-P

Irodalom

- ÁRENDÁS T. & SARKADI J., 1995. P-hatások és utóhatások erdőmaradványos csernozjomon. *Növénytermelés*. 44. 271–281.
- BARANYAI F., FEKETE A. & KOVÁCS I., 1987. A magyarországi talajtápanyag-vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BEAUCHAMP, E. G., 1987. Corn response to residual N from urea and manures applied in previous years. *Canadian J. Soil Sci.* 67. 931–942.

- BIRCSÁK, É. et al., 2005. Residual effects of previous N application in two Hungarian long-term field trials. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36. 215–230.
- BUZÁS I.-NÉ, KARKALIK A.-NÉ & TIHANYI L., 1988. A műtrágyázási szaktanácsadás és a műtrágyázás gyakorlatának összehasonlítása az 1987. évi kukoricatermesztési adatok alapján. *Hungagrochem '88.* 183–189.
- CSATHÓ, P., 2002. The residual effect of K fertilization in a Hungarian corn monoculture long-term field trial, 1990–1999. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 33. 3105–3119.
- CSATHÓ, P., 2005. Changes in fresh K equivalency of previous build-up K fertilization as a function of time in a Hungarian corn monoculture long-term field trial, 1990–2001. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 36. 295–308.
- CSATHÓ P. & KÁDÁR I., 2003. Foszfor utóhatás vizsgálatok mészlepedékes csernozjom talajon In: XVII. Országos Környezetvédelmi Konferencia és Szakkiállítás. (Szerk: ELEK GY. & VÉCSY B.) 232–241. MTE Sz. Siófok.
- CSATHÓ P. & RADIMSZKY L., 2005. A magyar mezőgazdaság környezetvédelmi és agronómiai megközelítésű NPK tápelem-mérlege 1901 és 2000 között. *Agrokémia és Talajtan.* 54. 217–234.
- CSATHÓ P. et al., 2005. A nitrogén műtrágyázás utóhatásának vizsgálata dunántúli barna erdőtalajokon. *Agrokémia és Talajtan.* 54. 59–76.
- EGNÉR, H., RIEHM, H. & DOMINGO, W. R., 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. *K. Landbr. Höchsk. Ann.* 26. 199–215.
- HERGERT, G. W., 1987. Status of residual nitrate-nitrogen soil tests in the United States of America. *SSSA Spec. Publ. SSSA.* 21. 73–88.
- HOLLÓ S., CSATHÓ P. & SARKADI J., 1991. A foszfor műtrágyázás hatékonysága kukorica–tavaszi árpa–ősz-búza vetésváltásban egy csernozjom barna erdőtalajon. *Növénytermelés.* 40. 51–66.
- JOHNSTON, A. E. et al., 1986. Effect of soil and fertilizer P on yields of potatoes, sugarbeet, barley and winter wheat on a sandy clay loam soil at Saxmundham, Suffolk. *Journal of Agricultural Science.* 106. 155–167.
- KÁDÁR I. & CSATHÓ P., 1985. A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza monokultúrában. II. Fajlagos hatékonyság, tápelemtartalom és -felvétel, a P-előregedés vizsgálata, fenológiai megfigyelések. *Agrokémia és Talajtan.* 34. 97–129.
- KÁDÁR I., CSATHÓ P. & SARKADI J., 1984. A szuperfoszfát tartamhatásának vizsgálata őszi búza monokultúrában. Talajvizsgálati és szemterméseredmények. I. *Agrokémia és Talajtan.* 33. 375–390.
- KÁDÁR I., CSATHÓ P. & SARKADI J., 1989. A talaj PK-ellátottsága és a PK-trágyázás hatékonysága közötti összefüggés meszes csernozjom talajon. *Agrokémiai és Talajtan.* 38. 78–82.
- KÁDÁR, I., CSATHÓ, P. & SARKADI, J., 1991. Potassium fertilization in Hungary: responses in maize and other crops. *Acta Agron. Hung.* 40. 295–317.
- KAMPURATH, E. J., & WATSON, M. E., 1980. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soils. In: *The Role of Phosphorus in Agriculture*. (Eds.: KHASAWNEH, F. E. et al.) 433–469. SSSA Madison, WI.
- KERPELY K., 1925. Cit in: DORNER B., 1925. A kereskedelmi trágyák története, gyártása és használata. 3. átd. bőv. kiad. Athenum. Budapest.
- NÉMETH I., 1985. A foszfor és a kálium hatása a búza termésére barna erdőtalajon. In: *Búzatermesztési kísérletek. 1970–1980.* (Szerk.: BAJAI J. & KOLTAY Á.) 432–443. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- NÉMETH T., 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest.
- NÉMETH T. & BUZÁS I., 1991a. Nitrogéntrágyázási tartamkísérletek humuszos homok- és mészlepedékes csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* 40. 399–408.
- NÉMETH T. & BUZÁS I., 1991b. Kalibrációs N-trágyázási kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövénnyel. *Agrokémia és Talajtan.* 40. 409–418.

- NÉMETH T., HORVÁTH J. & PÁLMAI O., 2010. Tápanyag-gazdálkodás. A tápanyag-gazdálkodás múltja és jelene. In: Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés 1. (Szerk.: RADICS L.) 209–232. Agroinform Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J & KÁDÁR, I., 1974. The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. *Agrokémia és Talajtan*. 23. Suppl. 93–100.
- SARKADI J., KRÁMER M. & THAMM F.-NÉ, 1965. Kalcium- és ammonium-laktátos talajkivonatok P-tartalmának meghatározása aszkorbinsav-ónkloridos módszerrel melegítés nélkül. *Agrokémia és Talajtan*. 14. 75–86.
- SHARPLEY, A. N., 2000. Phosphorus availability. In: *Handbook of Soil Science. Soil fertility and* (Ed.: SUMNER, M. E.) D-18-D38. CRC Press. Boca Raton.
- THAMM F.-NÉ, 1973. Néhány módosítás a növényi anyagok nedves roncsolásában. *Agrokémia és Talajtan*. 22. 345–350.
- THAMM F.-NÉ, 1996. A műtrágyák P-utóhatására ható tényezők és a P talajbeli átalakulásának modellezése. *Agrokémia és Talajtan*. 45. 177–202.
- THAMM F.-NÉ, KRÁMER M. & SARKADI J., 1968. Növények és trágyaanyagok foszfortartalmának meghatározása ammónium-molibdo-vanadátos módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. 17. 145–156.
- VAN DER PAAUW, F. 1963. Residual effect of nitrogen fertilizer on succeeding crops in a moderate marine climate. *Plant and Soil*. 19. 324–331.

Az OMTK kísérletek eredményeinek összefoglalása Mezőföldön 40 év után

1. Búza kísérlet eredményei 1968-2004 között

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A különböző adagú és arányú NPK műtrágyák hatásának vizsgálata céljából 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az ún. egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az eredetileg 26 termőhelyen azonos metodikával indított nagyszabású kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott kollektíva dolgozta ki Láng Géza akadémikus vezetésével. A kísérleteket ún. „terített” vetésforgóban évente fokozatosan állították be. Minden egyes kísérlet külön kódszámot kapott a beállítás évének és a forgónak megfelelően. Az országos kísérletsorozat főbb eredményeit átfogóan az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent „Trágyázási Kutatások 1960-1990” című monográfia mutatta be (Szerk.: *Debreczeni B. és Debreczeni Bné* 1994), valamint a *Blaskó et al.* (1998) szerkesztésében megjelent „Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain” című tanulmánykötet foglalta össze. A mélyfúrások ill. a NO₃-N mozgásával kapcsolatos eredményekről *Németh* (1995, 1996) számolt be.

Az MTA Talajtan és Agrokémiai Kutató Intézete mezőföldi/nagyhőrcsöki kísérleti telepén elkezdett kísérleti munkáról, annak eredményeiről először *Sarkadi és munkatársai* (1984, 1985) tudósítottak. Később a kísérletek részeredményeiből több közlemény is napvilágot látott (*Csathó et al.* 1989, *Sarkadi és Balláné* 1990, *Csathó* 1992, *Lásztity és Csathó* 1994, *Kádár* 1998). Továbbiakban az 1967 őszen indult A-17 jelű

tartamkísérlet 1968-2004. évek közötti búzaterméseinek adatait ismertetjük, melyek átfogó közlésére még nem kerülhetett sor.

Anyag és módszer

Az A-17 jelű kísérletet 1967 őszén állították be 20 kezeléssel x 4 ismétlésben, összesen 80 parcellával. A N és a P hatását 3-3, a K hatását 2-2 szinten vizsgáljuk az összes lehetséges 3x3x2=18 kombinációban. Mindezt kiegészíti a kezeletlen kontroll és egy megemelt NPK-adag. A split-plot elrendezésen belül a K-kezelések a főparcellát, míg a N és P kombinációk az alparcellákat jelentik. Műtrágyák adagjai a 4. és a 21. év után változtak, megemelkedtek a kor elvárásainak megfelelően. Eltértek növényfajonként is. Amint az 1. táblázatban látható, a 4. évet követően mindhárom növényfaj azonos P-trágyázásban részesül. A borsó mérsékeltebb N-adagokkal, míg a kukorica a nagyobb K-adagokkal tűnik ki.

1. táblázat Műtrágyaadagok az A-17. jelű OMTK kísérletben 1968-2004. között, (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhorcsók, Mezőföld)

NPK szintek	1-4.év	5-20.év	21.évtől	1-4.év	5-20.év	21. évtől	1-4. év	5-20.év	21.évtől
	búza alá adott			kukorica alá adott			borsó alá adott		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100	0	0	50
N ₂	70	100	150	80	100	150	20	32	75
N ₃	105	150	200	120	150	200	40	65	100
N ₄	140	200	250	160	200	250	40	97	125
P ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60	40	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120	80	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180	120	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200	80	100	100

Megjegyzés: Az adagok N, P₂O₅, K₂O kg/ha/év trágyázást jelentenek. Az 1970-ben termesztett tavaszi árpa a búzával azonos műtrágyázásban részesült.

Az A-17 jelű kísérlet pillangós forgót takar búza-kukorica-kukorica-borsó jelzőnövényekkel. 1970-ben tavaszi árpa, 1985-ben tavaszi repce került az egyik kukorica helyére. A 2. táblázatban feltüntettük a kísérlet évét, korát, a vetett növényfajt és fajtát. A növényfajok követik a köztermesztésben beálló változásokat, az alkalmazott agrotechnika szintén megfelel az üzemekben szokásosnak. Eltérést a parcellánkénti mérések jelentik a kísérleti jellegből adódóan, valamint a kézzel végzett parcellánkénti műtrágyázás. A P és K műtrágyákat, valamint a N adagjának felét ősszel szántás előtt, a N másik felét fejtrágyaként szórjuk ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában.

2. táblázat Az A-17. jelű OMTK kísérlet növényi sorrendje 1968-2007. között (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény fajtája	Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény Fajtája
1968	1	Őszi búza	Bezosttája 1.	1988	21	Őszi búza	Mv 19
1969	2	Kukorica	Mv 602	1989	22	Kukorica	Pi 3901
1970	3	Tavaszi árpa	MFB 104	1990	23	Kukorica	Pannónia 3737
1971	4	Borsó	IP 2	1991	24	Borsó	IP 3
1972	5	Őszi búza	Bezosttája 1.	1992	25	Őszi búza	Mv 21
1973	6	Kukorica	Mv Sc 580	1993	26	Kukorica	Stira
1974	7	Kukorica	Mv Sc 580	1994	27	Kukorica	Stira
1975	8	Borsó	IP 3	1995	28	Borsó	IP 3
1976	9	Őszi búza	Kavkaz	1996	29	Őszi búza	Mv 21
1977	10	Kukorica	Mv Sc 580	1997	30	Kukorica	Stira
1978	11	Kukorica	Mv Sc 580	1998	31	Kukorica	Stira
1979	12	Borsó	IP 3	1999	32	Borsó	Janus
1980	13	Őszi búza	GK 3	2000	33	Őszi búza	Mv-Magvas
1981	14	Kukorica	Sze Sc 444	2001	34	Kukorica	Juventus
1982	15	Kukorica	Sze Sc 444	2002	35	Kukorica	Juventus
1983	16	Borsó	IP 3	2003	36	Borsó	Janus
1984	17	Őszi búza	Mv 4	2004	37	Őszi búza	Mv-Magvas
1985	18	Tav. Repce	Wester	2005	38	Kukorica	(tervezett)
1986	19	Kukorica	Pi 3732	2006	39	Kukorica	(tervezett)
1987	20	Borsó	IP 3	2007	40	Borsó	(tervezett)

A kísérleti telep átlagos középhőmérséklete 11 °C, a csapadék átlagos éves mennyisége 590 mm, szárazságra hajló, az Alföldhöz hasonló. A löszön képződött mészeledékes talaj CaCO₃ tartalma átlagosan 5 %, humuszkészlete 3 %, agyagtartalma 20-22 % a szántott rétegben. A pH(KCl) 7,3, AL-P₂O₅ 60-80 mg·kg⁻¹, AL-K₂O 180-200 mg·kg⁻¹, KCl-oldható Mg 150-180 mg·kg⁻¹. A KCl+EDTA oldható Mn 80-150, Cu 2-3, Zn 1-2 mg·kg⁻¹. A szaktanácsadásban elfogadott irányelvek szerint ezek az adatok kielégítő K, Mg és Mn, közepes N és Cu, valamint gyenge P és Zn ellátottságot jelentenek.

Talajmintavételre 1980., 1984., 1988., 1997., 2004. években került sor. Parcellánként 20-20 pontból botfúróval vettünk átlagmintákat a 0-20 cm feltalajból. Mintákban meghatároztuk az ammóniumlaktát oldható P és K tartalmakat *Egnér et al. (1960)* módszerével, hogy nyomon kövessük a parcellák oldható P és K elemkészleteiben beálló változásokat. Összefüggést kívántunk keresni ezen túlmenően a búza szemtermése és a talajvizsgálati adatok között, hogy a műtrágyázást irányító talajvizsgálati határértékeket/optimumokat a szaktanácsadás számára kidolgozzuk.

Kísérleti eredmények

A kísérleti telepen mérjük a csapadékot. A 3. táblázatban az 1968-2003. években lehullott éves, valamint a tenyészidő alatti összegeket tüntettük fel. A legközelebbi meteorológiai állomáson Sárbogárdon mért 50 éves átlag 590 mm/év, a tenyészidő alatti X-VI. havi összeg 432 mm. A bemutatott adatok szerint a sokéves átlagot legalább 50 mm-rel meghaladó kedvező évek mindössze 5 minősül: 1969, 1974, 1975, 1998, 1999.

3. táblázat A csapadék megoszlása évenként és az őszi búza tenyészideje alatt (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Időszak, Évek	Éves összeg	Tenyészidő alatt X-VI. hó	Időszak, évek	Éves összeg	Tenyészidő alatt X-VI. hó
1968	358	177	1988	518	370
1969	681	479	1989	468	328
1970	584	473	1990	498	322
1971	407	328	1991	522	276
1972	619	332	1992	471	380
1973	483	320	1993	487	292
1974	755	427	1994	370	416
1975	681	523	1995	483	329
1976	576	306	1996	407	234
1977	522	453	1997	319	211
1978	543	425	1998	682	417
1979	535	330	1999	830	574
1980	603	401	2000	384	355
1981	516	456	2001	622	387
1982	496	404	2002	476	253
1983	421	367	2003	425	231
1984	619	358	2004	607	516
1985	562	428	2005	-	-
1986	440	467	2006	-	-
1987	603	441	2007	-	-

Megjegyzés: A legközelebbi állomáson Sárbogárdon mért 50 éves átlag 590 mm, a tenyészidő alatti X-VI. havi összeg 432 mm.

Viszont 22 évben elmarad az éves csapadék összege legalább 50 mm-rel a szokásos átlagtól. Extrém száraz évek minősült pl. 319 mm éves csapadékkal 1997, míg extrém nedves évek 830 mm-rel 1999. Az említett évekhez kötődő tenyészidő alatti összegekben még nagyobb, több mint 3-szoros eltérést látunk: 1968-ban 177, 1999-ben 574 mm eső hullott X-VI. hónapok alatt.

A búza 4 évenként kerül a forgóba, előveteménye rendre a borsó. A kiváló elővetemény N-ben gazdag talajt hagy maga után és a talaj vízkészletét sem meríti ki a kukoricához hasonlóan. *Sarkadi et al. (1984)* vizsgálatai szerint a búza termését az elővetemény-hatás a talajon átlagosan 1,0-1,5 t·ha⁻¹ mennyiséggel növelheti. A 4. táblázatban közölt eredmények szerint az aszályos 1968-ban a N-hatások elmaradtak, sőt

az egyoldalú N-túladagolás enyhe depressziót okozott. A P és K trágyák némileg ellensúlyozták az aszályos év és a N-túlsúly kedvezőtlen befolyását.

4. táblázat A 17-A jelű OMTK kísérlet búza szemtermés eredményei 1968-1980. között, t·ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

NP szintek	1968		1972		1976		1980	
	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
00	2.22	-	3.65	-	2.97	-	2.90	-
10	2.25	2.36	4.07	4.07	3.21	3.57	2.74	2.71
11	2.75	2.89	4.81	4.83	4.74	5.53	5.00	5.35
12	2.75	2.82	4.80	4.39	5.33	5.58	5.52	5.50
20	2.06	2.22	3.99	3.99	3.22	3.64	2.84	2.85
21	2.56	2.84	5.00	5.03	4.56	5.45	6.42	6.37
22	2.69	3.24	5.17	5.05	5.16	5.91	6.92	7.09
30	1.88	2.19	3.66	3.92	2.71	3.37	2.79	3.50
31	2.37	3.08	5.13	4.95	4.92	5.36	6.11	6.62
32	2.69	2.98	5.01	5.06	5.18	5.66	6.80	7.59
43	-	3.06	-	5.21	-	5.60	-	7.33
SzD _{5%}	0.33		0.26		0.33		0.37	
N-szintek (P átlagában)								
1	2.58	2.69	4.56	4.43	4.42	4.89	4.42	4.52
2	2.44	2.77	4.72	4.69	4.31	5.00	5.39	5.44
3	2.31	2.75	4.60	4.64	4.27	4.79	5.23	5.90
SzD _{5%}	0.19		0.15		0.19		0.22	
P-szintek (N átlagában)								
0	2.06	2.26	3.91	3.99	3.04	3.53	2.79	3.02
1	2.56	2.94	4.98	4.94	4.74	5.45	5.84	6.11
2	2.71	3.01	4.99	4.83	5.22	5.71	6.41	6.72
SzD _{5%}	0.19		0.15		0.19		0.22	
NP-átlag	2.44	2.73	4.63	4.59	4.34	4.90	5.01	5.28

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. Táblázatban

A kedvezőbb 1972. évben döntőnek a P-hatások bizonyultak 1 t·ha⁻¹ körüli szemtermés-többleteket produkálva. Hasonló volt a helyzet 1976. évben is, amikor az átlagos P-hatások már 2 t·ha⁻¹ feletti terméstöbbletet okoztak. Az együttes NPK műtrágyázás eredményeképpen a 3,0 t·ha⁻¹ körüli trágyázatlan kontroll parcellák termése 5,6-5,9 t·ha⁻¹ mennyiségre emelkedett. A kísérlet 13. évében 1980-ban tovább nőttek az átlagos trágyahatások. A csapadékellátottság kielégítő volt, a 2,9 t·ha⁻¹ kontroll termését az együttes NPK trágyázás 7,3 t·ha⁻¹-ra növelte. Az önmagában adott N nem eredményezett terméstöbbletet. A P-ral együtt adagolva már érvényesült a 100

kg/ha/év N-kínálat kerekén $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ terméstöbbleteket okozva. A PK alapon végzett trágyázásnál pedig már a 150 kg/ha/év N-adagok jótékony hatása is igazolható (4. táblázat).

Az első minimumban levő tápelem e 3 % humuszkészlettel rendelkező talajon borsó elővetemény után nem a N, hanem a P. A talaj átlagos években képes $50\text{-}100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N-t szolgáltatni pillangós elővetemény nélkül is. A búza elsősorban P-igényével tűnik ki ezen a P-ral gyengén ellátott termőhelyen. Az 1980-ban elért kerekén $7,6 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ szem és a hozzá tartozó mellékterméssel (25 kg N fajlagos elemfelvétellel számolva minden t szemtermés előállítására) a becsült N-felvétel elérhette a $190 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ mennyiséget. Amennyiben a kilúgzási veszteségeket $30\text{-}50 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ mennyiségre becsüljük, hasonló évben és N-kínálat esetén logikusnak tűnik a $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N-adag termésnövelő hatása.

Az önmagában adott, 50 kg/ha/év feletti N-trágyázás nyomán a szemtermések mérséklődtek, megnyilvánult a N-túlsúly depresszív hatása, nőtt a relatív P-hiány. A N átlagában mért P-hatások egyre nagyobb terméstöbbleteket eredményeztek az évekkel. Ugyanez mondható el az NP-kezelések átlagában kapott K-hatásokról, melyek tendenciájukban növekvő és statisztikailag is igazolható többletekről tanúskodnak. Az elmondottakat az 5. táblázatban bemutatott 1984., 1988. és 1992. évi eredmények is alátámasztják, amikor a csapadékellátottság többé-kevésbé megfelelő volt az őszi búza számára.

A rendkívül aszályos 1996. évben a kontroll parcella szemtermése $1,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ -ra esett. A mérsékelt NPK trágyázás bizonyult hatékonynak, amennyiben $3,9 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ maximális szemtermést eredményezett, részben ellensúlyozva a víz hiányát. A kontroll termése megháromszorozódott, azaz relatíve, %-osan tekintve, legnagyobb trágyahatások a szárazabb években jelentkezhetnek. Az abszolút terméstöbbség természetesen mérsékelt, $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ maradt. A 6. táblázat adatai szerint hasonlóképpen megkészszerzte a kontroll termését a mérsékelt NPK műtrágyázás a viszonylag csapadékszegény 2000. évben is.

Az 1968-1980., ill. 1984-1996. 4-4 búzaév átlagait is tekintve összefoglalóan megállapítható, hogy a trágyahatások időfüggők, az évekkel változnak. Változik ugyanis maga a talaj a kezelések nyomán. Bizonyos elemekben elszegényedik, másokban viszont dúsulhat. Megváltozhat az elemek minimum sorrendje. A talajtermékenység megőrzése/növelése céljából a tápelemek kiegyensúlyozott arányát kell biztosítanunk. A trágyázás/műtrágyázás irányítása és ellenőrzése igényli a talaj tápanyag-tókéjének ismeretét. Nem állíthatjuk pl., hogy a mezőföldi csernozjom talajokon a búza legfontosabb trágyája a N, vagy a P.

Az időszakosan végzett talajvizsgálatok eredményeit a 7. táblázatban tekinthetjük át. Az adatokból látható, hogy a növekvő P-trágyázási szintek és az évek kumulatív hatása nyomán a szántott réteg oldható AL- P_2O_5 készlete nagyságrendi változást szenvedett, 41 és $586 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ extrém hiányos és extrém túlsúlyos értékek között ingadozott 1997-ben.

5. táblázat A 17-A jelű OTK kísérlet búza szemtermés eredményei 1984-1996. között, t·ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

NP szintek	1984		1988		1992		1996	
	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
00	2.65	-	3.80	-	3.15	-	1.25	-
10	3.28	3.31	4.68	4.57	4.21	3.96	1.86	2.05
11	4.92	5.59	7.16	7.65	7.01	6.79	3.05	3.07
12	5.75	5.79	6.95	7.64	7.12	7.24	3.16	3.20
20	2.81	3.18	4.03	4.60	3.89	4.20	1.97	2.24
21	5.12	5.60	6.92	7.58	6.72	6.85	3.40	3.27
22	5.89	6.31	6.67	7.01	6.07	7.12	3.62	3.91
30	2.70	3.55	3.94	4.91	3.55	4.59	1.99	2.27
31	5.22	5.60	6.95	7.71	6.85	6.84	3.60	3.47
32	6.14	6.47	6.33	6.87	6.86	6.95	3.83	3.67
43	-	6.73	-	6.56	-	6.25	-	3.82
SzD _{5%}	0.31		0.44		0.77		0.32	
N-szintek (P átlagában)								
1	4.65	4.90	6.26	6.62	6.11	6.00	2.69	2.77
2	4.60	5.03	5.87	6.40	5.56	6.06	3.00	3.14
3	4.68	5.21	5.74	6.50	5.75	6.13	3.14	3.14
SzD _{5%}	0.18		0.16		0.45		0.18	
P-szintek (N átlagában)								
0	2.93	3.35	4.21	4.70	3.88	4.25	1.94	2.19
1	5.08	5.60	7.01	7.64	6.86	6.83	3.35	3.59
2	5.93	6.19	6.65	7.17	6.68	7.10	3.53	3.59
SzD _{5%}	0.18		0.16		0.45		0.18	
NP-átlag	4.65	5.04	5.96	6.50	5.81	6.06	2.94	3.02

Megjegyzés: N és P műtrágya adagokat lásd az 1. táblázatban

Tendenciaként az is megfigyelhető, hogy a kielégítő N-ellátásban részesült és nagyobb terméseket adó parcellák talajában kevesebb oldható P-készlet maradt vissza. Erre utalnak a P-kezelések átlagában mért N-hatások. Az átlagos P-hatások viszont azt jelzik, hogy a növényi felvételeket jelentősen (2-3-szorosan) meghaladó P-trágyázás nyomán a talaj AL-P₂O₅ készlete ugrásszerűen emelkedik, a mérleg körüli 50-60 kg/ha/év P₂O₅ P-trágyázásnál lényegében nem változik, míg trágyázás nélkül a feltalaj elszegényedik.

Ami az AL-K₂O készletét illeti, szembevetendő a feltalaj elszegényedése a K-ot nem kapott kontroll talaj szántott rétegében. Feltehető, hogy a szántott réteg alatti K-készlet is csökkent, hiszen a búza gyökerei a mélyebb rétegekből is táplálkoznak. Mivel a kísérletben a K-ban gazdag melléktermés is elkerül a tábláról, becsléseink szerint forgónként átlagosan mintegy 500 kg ha⁻¹ K₂O elvonás történt. A K-elvonás becslésénél

részletes növényelemzési adatok híján abból indultunk ki, hogy az átlagos fajlagos K-igény 1 t szemtermésre és a hozzá tartozó földfeletti betakarított melléktermésre számolva a búzánál 18 kg, kukoricánál 20 kg, borsónál 35 kg (Kádár 1993). A 2-3 t·ha⁻¹ borsó mintegy 80 kg, a 4-6 t·ha⁻¹ búza 100 kg, a 6-8 t·ha⁻¹ átlagos kukorica 160 kg K₂O elvonást eredményezhetett évente. Az 1980-1997. közötti 17 év alatt ez 2,0-2,2 t·ha⁻¹ K₂O veszteséget jelenthetett, mely tükröződik a kontroll talaj AL-K₂O értékekben. A mérsékelt K-adagok jobbra a kivont K mennyiségeit ellensúlyozhatták, fenntartva a szántott réteg K-készletét (6. táblázat).

6. táblázat A 17-A jelű OTK kísérlet búza szemtermés eredményei 2000-ben, 2004-ben és a 4 éves átlagok t·ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

NP szintek	2000		2004		1968-1980		1984-1996	
	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
00	2.75	—	2.49	—	2.94	—	2.71	—
10	3.17	3.56	3.96	3.77	3.07	3.18	3.51	3.47
11	5.57	6.21	6.00	6.30	4.33	4.65	5.54	5.78
12	5.43	6.09	6.08	6.31	4.60	4.57	5.75	5.97
20	2.68	3.50	3.32	3.87	3.03	3.18	3.18	3.56
21	5.43	6.03	5.82	5.71	4.64	4.92	5.54	5.83
22	5.29	5.75	5.89	6.24	4.99	5.32	5.56	6.09
30	2.33	3.89	3.59	4.67	2.76	3.25	3.05	3.83
31	5.20	5.92	5.83	6.11	4.63	5.00	5.66	5.91
32	5.05	5.69	5.76	6.24	4.92	5.32	5.79	5.99
43	—	5.25	—	5.76	—	5.30	—	5.84
SzD _{5%}	0.39		0.57		0.32		0.46	
N-szintek (P átlagában)								
1	4.72	5.29	5.35	5.46	4.00	4.13	4.93	5.07
2	4.47	5.09	5.01	5.27	4.22	4.48	4.76	5.16
3	4.19	5.16	5.06	5.68	4.10	4.52	4.83	5.25
SzD _{5%}	0.23		0.23		0.19		0.24	
P-szintek (N átlagában)								
0	2.72	3.65	3.62	4.01	2.95	3.20	3.24	3.62
1	5.40	6.06	5.89	6.04	4.53	4.86	5.58	5.84
2	5.26	5.84	5.91	6.26	4.83	5.07	5.70	6.01
SzD _{5%}	0.23		0.23		0.19		0.24	
NP-átlag	4.46	5.18	5.14	5.47	4.12	4.38	4.84	5.16

Megjegyzés: N és P műtrágya adagokat lásd az 1. táblázatban

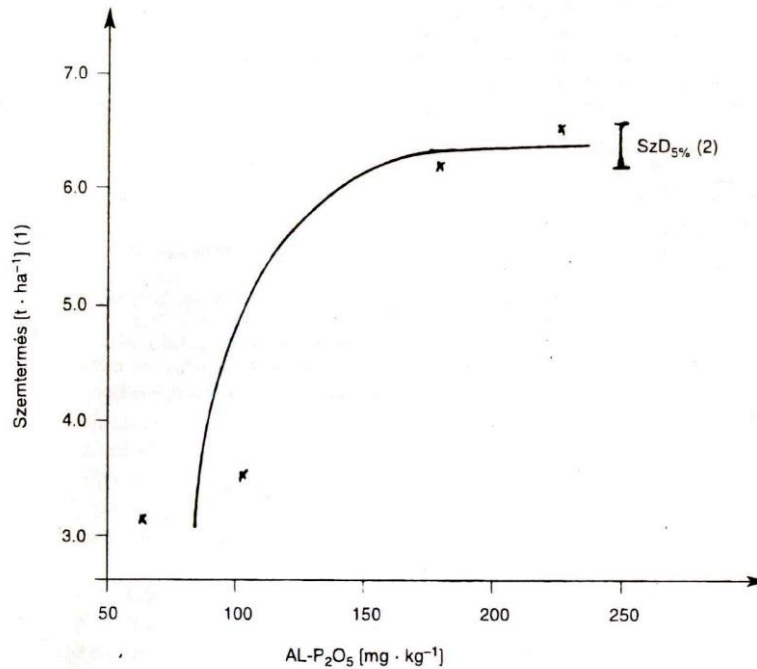
A korábban említett növekvő K-hatások minden bizonnyal összefüggenek a talaj oldható K-készletének csökkenésével. Az eredetileg K-mal kielégítően ellátott talaj gyenge ellátottsági kategóriába került. A K-hatásokat tekintve megállapítható, hogy

ezen karbonátos könnyűvályog talajon kívánatos a szántott réteg AL-K₂O készletét a 200 mg·kg⁻¹ határérték körül tartani a kielégítő búzatermések elérése céljából. Ez a „kielégítő” K-ellátottsági szint a K-mérleg egyenlegét biztosító K-trágyázással tartható fenn. A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅ tartalma és az őszi búza szemtermése közötti összefüggést az 1980., 1984. és 1988. években és a P-kezelések átlagaiban az 1. ábra mutatja be. Bár az egyes évek között jelentős szórást látunk, az összefüggések meggyőzőek. A „kielégítő” vagy optimális AL-P₂O₅ tartalom 150-200 mg·kg⁻¹ tartományban található ezen a termőhelyen. A 200 mg·kg⁻¹ fölötti AL-P₂O₅ készlettel nem járt együtt terméscsökkenés/depresszió sem jelentkezett.

7. táblázat Műtrágyázás hatása a szántott réteg AL-oldható PK-tartalmára az A-17 jelű kísérletben

NP Szintek	Ammóniumlaktát (AL)-oldható P ₂ O ₅ , mg/kg				
	1980	1984	1988	1997	2004
10	67	55	55	49	59
11	107	106	103	146	170
12	186	185	204	394	392
20	71	56	57	53	58
21	104	97	96	129	149
22	166	180	190	366	365
30	64	76	58	41	61
31	118	90	99	153	184
32	148	171	183	357	402
43	184	237	265	586	643
SzD _{5%}	34	55	18	39	36
N-szintek (P átlagában)					
1	120	115	121	197	207
2	114	111	114	182	190
3	110	112	113	183	216
SzD _{5%}	15	20	10	22	21
P-szintek (N átlagában)					
0	67	64	57	48	59
1	110	98	99	143	168
2	167	178	192	372	386
3	184	237	265	586	643
SzD _{5%}	15	20	10	22	21
K Szintek	Ammóniumlaktát (AL)-oldható K ₂ O, mg/kg				
	1980	1984	1988	1997	2004
0	186	176	130	115	132
1	212	248	227	266	270
2	220	244	227	286	275
SzD _{5%}	7	7	12	9	14

Megjegyzés: N és P műtrágya adagokat lásd az 1. táblázatban



L.ábra A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅-tartalma és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) szemtermése közötti összefüggés a 1980. és a 1988. év átlagában (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Összefoglalás

Az A-17 jelű OMTK NPK műtrágyázási kísérletet 1967 őszén állítottuk be 20 kezeléssel és 4 ismétléssel (összesen 80 parcellában) búza-kukorica-kukorica-borsó forgóval. Jelen munkánkban az 1968-2004. között, tehát a kísérlet 37 éve alatt kapott 10 búza kísérleti év eredményeit ismertetjük. A termőhely löszön képződött karbonátos csernozjom talaja a szántott rétegben mintegy 5 % CaCO₃-ot, 3 % humuszt és 20-22 % agyagot tartalmaz, N-nel és K-mal kielégítően, P-ral gyengén ellátott. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékenynek minősül 590 mm átlagos éves csapadékösszegével. Műtrágyaként pétisót, szuperfoszfátot és 50 %-os kálisó alkalmaztunk. Főbb eredményeink:

A trágyázatlan kontroll parcellák szemtermése 1,2-3,8 t·ha⁻¹, az optimális NPK kezelésben 3,2-7,7 t·ha⁻¹ között változott a vizsgált években. Termésmaximumok az 50-100 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-adaghoz, ill. a 150-200 mg·kg⁻¹ ammóniumlaktát (AL) oldható P₂O₅ és K₂O tartalomhoz kötődtek a szántott rétegben.

A borsó előveteményt követő búza általában termésnövekedéssel reagált az egyoldalú, 50 kg·ha⁻¹·év⁻¹ feletti N-adagokra. Az évekkel nőtt a relatív PK hiánya a kezelésekben, ill. nőtt a PK-trágyázás hatékonysága. A kiegyensúlyozott NPK trágyázás részben ellensúlyozta az aszályt, javult a vízhasznosulás.

A trágyahatások időfüggők, mert változik a talaj összetétel, elemkínálata. A trágyázatlan parcellák szántott rétege elszegényedett oldható P és K készletében, mellyel a növekvő PK-hatások összefüggtek. Az eredetileg kielégítő $180-200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL- K_2O tartalom a közel 3 évtized alatt $115 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre, a $60-80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL- P_2O_5 készlet $50 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre süllyedt.

Megközelítően a növényi felvételt tükröző $50-60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ P_2O_5 , ill. $100-150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ K_2O adagokkal a talaj szántott rétegének oldható PK-készlete fenntartható. A felvételt 2-3-szorosan meghaladó P-trágyázás nyomán a feltalaj AL- P_2O_5 tartalma nagyságrendi dúsulást mutatott.

Irodalom

- Blaskó L. – Debreczeni Bné – Holló S. – Kadlicskó B. – Sárvári M. (Szerk.: 1998.)*
Mútrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Csathó P. – Kádár I. – Sarkadi J. (1989):* A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 38:69-76.
- Csathó P. (1992):* K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 41:241-260.
- Debreczeni B. – Debreczeni Bné (1994):* Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Egnér, H. – Riehm, H. – Domingo, W.R. (1960):* Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K. Lantbr. Högsk. Ann. 26:199-215.
- Kádár I. (1998):* Mútrágyázás hatása a talaj termékenységre meszlepedékes csernozjom talajon. Nagyhőrcsök. In: Mútrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. 55-68. Szerk.: Blaskó et al. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Kádár I. (1993):* Különböző szemléletek a ttápanyag-utánpótlás alapelveiről. Agrokémia és Talajtan. 42:408-420.
- Lásztity B. – Csathó P. (1994):* Tartós NPK műtrágyázás hatásának vizsgálata búza-kukorica dikultúrában. Növénytermelés. 43:157-167.
- Németh T. (1995):* Nitrogen in Hungarian Soils – nitrogen management relation to groundwater protection. J. Contam. Hydrology. 20:185-208.
- Németh T. (1996):* Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiail Kutató Intézete. Budapest.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1984):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei meszlepedékes csernozjom talajon. I. NP műtrágyahatások az őszi bűza kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 33:355-374.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1985):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei meszlepedékes csernozjom talajon. II. K-hatások az őszi bűza kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 34:130-136.
- Sarkadi J. – Balla Ané (1990):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei meszlepedékes csernozjom talajon. III. Kukorica-kísérletek. Agrokémia és Talajtan. 39:103-110.

2. Búza utáni kukorica kísérlet eredményei 1969-2005 között

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A különböző adagú és arányú NPK műtrágyák hatásának vizsgálata céljából 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az ún. egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az eredetileg 26 termőhelyen azonos metodikával indított nagyszabású kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott kollektíva dolgozta ki Láng Géza akadémikus vezetésével. A kísérleteket ún. „terített” vetésforgóban évente fokozatosan állították be. Minden egyes kísérlet külön kódszámot kapott a beállítás évének és a forgónak megfelelően. Az országos kísérletsorozat főbb eredményeit átfogóan az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent „Trágyázási Kutatások 1960-1990” című monográfia mutatta be (Szerk.: *Debreczeni B. és Debreczeni Bné* 1994), valamint a *Blaskó et al.* (1998) szerkesztésében megjelent „Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain” című tanulmánykötet foglalta össze. A mélyfúrások ill. a NO₃-N mozgásával kapcsolatos eredményekről *Németh (1995, 1996)* számolt be.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete mezőföldi/nagyhőrcsöki kísérleti telepén elkezdett kísérleti munkáról, annak eredményeiről először *Sarkadi és munkatársai* (1984, 1985) tudósítottak. Később a kísérletek részeredményeiből több közlemény is napvilágot látott (*Csathó et al. 1989, Sarkadi és Balláné 1990, Csathó 1992, László és Csathó 1994, Kádár 1998*). Továbbiakban az 1967 őszen indult A-17 jelű tartamkísérlet 1969-2002. évek közötti kukorica termések adatait ismertetjük, melyek átfogó közlésére még nem kerülhetett sor. Az 1968-2004. évek búza termésének eredményeit előző munkánk taglalta (*Kádár és Márton 2005*).

Anyag és módszer

Az A-17 jelű kísérletet 1967 őszen állították be 20 kezeléssel x 4 ismétlésben, összesen 80 parcellával. A N és a P hatását 3-3, a K hatását 2-2 szinten vizsgáljuk az összes lehetséges 3x3x2=18 kombinációban. Mindezt kiegészíti a kezeletlen kontroll és egy megemelt NPK-adag. A split-plot elrendezésen belül a K-kezelések a főparcellát, míg a N és P kombinációk az alparcellákat jelentik. Műtrágyák adagjai a 4. és a 21. év után változtak, megemelkedtek a kor elvárásainak megfelelően. Eltértek növényfajonként is. Amint az *1. táblázatban* látható, a 4. évet követően mindhárom növényfaj azonos P-trágyázásban részesül. A borsó mérsékelt N-adagokkal, míg a kukorica a nagyobb K-adagokkal tűnik ki.

Az A-17 jelű kísérlet pillangós forgót takar búza-kukorica-kukorica-borsó jelzőnövényekkel. 1970-ben tavaszi árpa, 1985-ben tavaszi repce került az egyik kukorica helyére. A *2. táblázatban* feltüntettük a kísérlet évét, korát, a vetett növényfajt és fajtát. A növényfajok követik a köztermesztésben beálló változásokat, az alkalmazott agrotechnika szintén megfelel az üzemekben szokásosnak. Eltérést a parcellánkénti mérések jelentik a kísérleti jellegből adódóan, valamint a kézzel végzett parcellánkénti műtrágyázás. A P és K műtrágyákat, valamint a N adagjának felét ősszel szántás előtt, a N másik felét fejtrágyaként szórjuk ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában.

1. táblázat Műtrágyaadagok az A-17. jelű OMTK kísérletben 1968-2004 között (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

NPK Szintek	1-4.év	5-20.év	21.évtől	1-4.év	5-20.év	21. évtől	1-4. év	5-20.év	21.évtől
	búza alá adott			kukorica alá adott			borsó alá adott		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100	0	0	50
N ₂	70	100	150	80	100	150	20	32	75
N ₃	105	150	200	120	150	200	40	65	100
N ₄	140	200	250	160	200	250	40	97	125
P ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60	40	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120	80	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180	120	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200	80	100	100

Megjegyzés: Az adagok N, P₂O₅, K₂O kg/ha/év trágyázást jelentenek. Az 1970-ben termesztett tavaszi árpa a búzával azonos műtrágyázásban részesült.

2. táblázat Az A-17. jelű OMTK kísérlet növényi sorrendje 1968-2004 között (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény fajtája	Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény Fajtája
1968	1	Őszi búza	Bezosttája 1.	1988	21	Őszi búza	Mv 19
1969	2	Kukorica	Mv 602	1989	22	Kukorica	Pi 3901
1970	3	Tavaszi árpa	MFB 104	1990	23	Kukorica	Pannónia 3737
1971	4	Borsó	IP 2	1991	24	Borsó	IP 3
1972	5	Őszi búza	Bezosttája 1.	1992	25	Őszi búza	Mv 21
1973	6	Kukorica	Mv Sc 580	1993	26	Kukorica	Stira
1974	7	Kukorica	Mv Sc 580	1994	27	Kukorica	Stira
1975	8	Borsó	IP 3	1995	28	Borsó	IP 3
1976	9	Őszi búza	Kavkaz	1996	29	Őszi búza	Mv 21
1977	10	Kukorica	Mv Sc 580	1997	30	Kukorica	Stira
1978	11	Kukorica	Mv Sc 580	1998	31	Kukorica	Stira
1979	12	Borsó	IP 3	1999	32	Borsó	Janus
1980	13	Őszi búza	GK 3	2000	33	Őszi búza	Mv-Magvas
1981	14	Kukorica	Sze Sc 444	2001	34	Kukorica	Juventus
1982	15	Kukorica	Sze Sc 444	2002	35	Kukorica	Juventus
1983	16	Borsó	IP 3	2003	36	Borsó	Janus
1984	17	Őszi búza	Mv 4	2004	37	Őszi búza	Mv-Magvas
1985	18	Tav. Repce	Wester	2005	38	Kukorica	(tervezett)
1986	19	Kukorica	Pi 3732	2006	39	Kukorica	(tervezett)
1987	20	Borsó	IP 3	2007	40	Borsó	(tervezett)

A kísérleti telep átlagos középhőmérséklete 11 °C, a csapadék átlagos éves mennyisége 590 mm, szárazságra hajló, az Alföldhöz hasonló. A löszön képződött mészlepedékes talaj CaCO₃ tartalma átlagosan 5 %, humuszkészlete 3 %, agyagtartalma 20-22 % a szántott rétegben. A pH(KCl) 7.3, AL-P₂O₅ 60-80 mg/kg, AL-K₂O 180-200 mg/kg, KCl-oldható Mg 150-180 mg/kg. A KCl+EDTA oldható Mn 80-150, Cu 2-3, Zn 1-2 mg/kg. A szaktanácsadásban elfogadott irányelvek szerint ezek az adatok kielégítő K, Mg és Mn, közepes N és Cu, valamint gyenge P és Zn ellátottságot jelentenek.

Talajmintavételre 1980., 1984., 1988., 1997., 2004. években került sor. Parcellánként 20-20 pontból botfúróval vettünk átlagmintákat a 0-20 cm feltalajból. Mintákban meghatároztuk az ammóniumlaktát oldható P és K tartalmakat *Egnér et al. (1960)* módszerével, hogy nyomon kövessük a parcellák oldható P és K elemkészleteiben beálló változásokat. Összefüggést kívántunk keresni ezen túlmenően a kukorica szemtermése és a talajvizsgálati adatok között, hogy a műtrágyázást irányító talajvizsgálati határértékeket/optimumokat a szaktanácsadás számára kidolgozzuk.

Kísérleti eredmények

3. táblázat A csapadék megoszlása évenként és az őszi búza tenyészideje alatt (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Időszak, Évek	Éves összeg	Tenyészidő alatt IV-IX. hó	Időszak, évek	Éves Összeg	Tenyészidő alatt X-VI. hó
1968	358	212	1988	518	290
1969	681	341	1989	468	321
1970	584	348	1990	498	325
1971	407	282	1991	522	308
1972	619	458	1992	471	217
1973	483	287	1993	487	205
1974	755	422	1994	370	242
1975	681	495	1995	483	287
1976	576	312	1996	407	316
1977	522	256	1997	319	183
1978	543	384	1998	682	458
1979	535	238	1999	830	564
1980	603	282	2000	384	180
1981	516	288	2001	622	432
1982	496	295	2002	476	341
1983	421	221	2003	425	210
1984	619	355	2004	607	310
1985	562	276	2005	649	490
1986	440	220	2006	475	334
1987	603	357	2007	-	-

Megjegyzés: A legközelebbi állomáson Sárbogárdon mért 50 éves átlag 590 mm, a tenyészidő alatti IV-IX. havi összeg 316 mm.

A kísérleti helyen mérjük a csapadékot. A 3. táblázatban az 1968-2004. években lehullott éves, valamint a tenyészidő alatti mennyiségeket tüntettük fel. A legközelebbi

meteorológiai állomáson mért 50 éves átlag 590 mm/év, a tenyészidő alatti IV-IX. havi összeg pedig 316 mm. A bemutatott adatok szerint a sokéves átlagot legalább 50 mm-rel meghaladó kedvező évek mindössze 5 minősül: 1969, 1974, 1975, 1998, 1999. Viszont 22 évben elmarad az éves csapadék összege legalább 50 mm-rel a sokéves átlagtól. Extrém száraz évek tekinthető 1968., 1994., 1997. és 2000, amikor az éves csapadék több mint 200 mm-rel maradt el a sokéves átlagtól. Csapadékban legszegényebb évünk 1997 volt 319 mm, leggazdagabb az 1999. év 830 mm esővel. Ugyanezen években a tenyészidő IV-IX. hónapjai alatt 183, ill. 564 mm volt a mért csapadék, tehát az eltérés több mint 3-szorosnak adódott.

4. táblázat A 17-A jelű OMTK kísérlet őszi búza utáni kukorica szemtermés eredményei 1969-1981. között, t·ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N szintek	P szintek	1969		1973		1977		1981	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	7.37	-	7.70	-	5.53	-	3.88	-
1	0	8.40	9.01	8.52	8.23	6.03	7.41	5.03	5.73
1	1	8.24	9.26	8.35	8.99	6.81	7.85	7.47	7.85
1	2	9.95	9.05	8.98	8.84	7.00	7.37	7.48	7.16
2	0	8.11	9.10	7.51	6.55	6.79	7.38	4.43	5.98
2	1	8.10	9.08	8.91	6.70	7.83	8.75	7.57	8.58
2	2	8.54	9.60	8.65	8.85	7.85	8.99	7.99	8.31
3	0	7.60	8.35	3.97	5.82	6.38	7.63	3.49	5.84
3	1	8.46	9.54	8.35	8.19	7.72	9.35	7.70	8.81
3	2	9.26	9.03	8.86	6.67	8.35	8.89	8.27	8.54
4	3	-	9.82	-	6.29	-	8.90	-	7.91
SzD _{5%}		0.46		0.72		0.58		0.67	
N-szintek (P átlagában)									
1		8.86	9.11	8.62	8.69	6.61	7.54	6.66	6.91
2		8.25	9.26	8.35	7.37	7.49	8.37	6.66	7.62
3		8.44	8.97	7.06	6.89	7.48	8.62	6.49	7.73
SzD _{5%}		0.27		0.41		0.33		0.38	
P-szintek (N átlagában)									
	0	8.03	8.82	6.67	6.87	6.40	7.47	4.32	5.85
	1	8.27	9.29	8.53	7.96	7.45	8.65	7.58	8.41
	2	9.25	9.23	8.83	8.12	7.73	8.42	7.91	8.00
SzD _{5%}		0.27		0.41		0.33		0.38	
NP-átlag		8.52	9.11	8.01	7.65	7.19	8.18	6.60	8.00

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban

A kukorica előveteménye minden évben a búza volt, így 1968-2001. között, a 34 év alatt 9 ilyen kukoricaév adódott: 1969, 1973, 1977, 1981, 1985, 1989, 1993, 1997, 2001.

Amint az első 4 kukoricaévben látható, 1969-1981. között a trágyázatlan kontroll szemtermését az önmagában adott kisebb N-adag igazolhatóan növeli, viszont a N₃-szinten P nélkül már a termés általában visszaesik. A P-hatások különösen kifejezette válnak a nagyobb N-szinteken, K-trágyázás nélkül elérve az 1.5-4.5 t/ha szemterméstöbbleteket. A K-hatások kezdetben nem következettek ezen a K-mal közepesen ellátott vályogtalajon, de a későbbi években és az NP átlagában mérve 1977-ben 1.0 t/ha, 1981-ben 1.4 t/ha szemterméstöbbletet eredményeztek (4. táblázat).

5. táblázat A 17-A jelű OMTK kísérlet őszi búza utáni kukorica szemtermés eredményei 1989-2001. között, t ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhorcsók, Mezőföld)

N szintek	P	1989		1993		1997		2001	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	5.40	-	5.37	-	6.59	-	6.80	-
1	0	6.51	6.76	6.31	5.98	9.19	9.13	7.60	7.80
1	1	7.85	10.01	7.79	7.94	9.79	10.80	7.40	9.50
1	2	7.45	9.19	6.82	7.34	9.46	10.62	5.90	8.00
2	0	6.05	7.01	6.25	5.91	8.92	9.05	6.50	7.80
2	1	8.09	9.72	7.79	7.99	10.18	10.85	6.80	9.60
2	2	7.23	8.76	7.03	7.29	9.26	10.10	6.50	7.50
3	0	5.40	6.90	5.99	6.26	8.66	10.06	6.90	8.60
3	1	8.25	9.79	7.28	8.09	10.12	10.91	7.00	8.90
3	2	7.71	8.45	6.90	7.00	9.60	9.91	5.90	8.30
4	3	-	6.89	-	5.46	-	8.88	-	5.80
SzD _{5%}		0.78		0.60		0.77		0.90	
N-szintek (P átlagában)									
1		7.27	8.65	6.98	7.09	9.48	10.18	7.00	8.40
2		7.12	8.50	7.03	7.06	0.45	10.00	6.60	8.30
3		7.12	8.38	6.72	7.12	9.46	10.29	6.60	8.60
SzD _{5%}		0.45		0.34		0.43		0.50	
P-szintek (N átlagában)									
	0	5.99	6.89	6.19	6.05	8.92	9.41	7.00	8.10
	1	8.06	9.84	7.62	8.00	10.03	10.85	7.10	9.30
	2	7.46	8.80	6.92	7.21	9.44	10.20	6.10	8.00
SzD _{5%}		0.45		0.34		0.43		0.50	
NP-átlag		7.17	8.51	6.91	7.09	9.46	10.16	6.70	8.20

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban

A második 4 kukoricaév adatait az 5. táblázat tekinti át 1989-2001. években. Itt is megfigyelhető az első N-adag termésmenővelő hatása a trágyázatlan kontrollhoz viszonyítva, ill. a nagyobb N₃-szintek depresszív hatása PK-trágyázás nélkül. A P-trágyázás viszont csak a mérsékelt P₁ szinten hatékony, a megnövelt P₂ vagy P₃ szintek egyre inkább jelentős terméscsökkenést eredményeznek a P₁ szinthez képest. Korábbi

vizsgálataink szerint ennek oka a P-Zn antagonizmus, a P-túlsúly által kiváltott Zn-hiány ezen a Zn-kel gyengén ellátott meszes csernozjom talajon (*Elek és Kádár 1975, Kádár 1987, Csathó 1992, Csathó et al. 1989*). Az 5. táblázatban bemutatott adatokból az is megállapítható, hogy a K-trágyázásban részesült parcellákon rendre nagyobb termések képződtek, különösen az 1989-es évben és 2001-ben.

1985-ben egy olajnövény, az őszi káposztarepce került a kukorica helyére. A trágyázatlan kontroll talajon mindössze 0.4 t/ha magtermés termett, melyet az együttes NP-trágyázás 4.0-4.5-szeresére, az NPK-trágyázás 5-szörösére volt képes növelni. A P-kezelések átlagában mért N-hatások jelentéktelenek maradtak, K-trágyázás nélkül nem is igazolhatók. Ezzel szemben az átlagos P-hatások látványosak 1 t/ha körüli magtermés-többletekkel. A 6. táblázatban bemutatjuk a 4-4 éves kukorica átlagait is. Amint az adatokból megállapítható, az első 4 kukoricaév átlagosan és kerekén 0.5 t/ha szemterméstöbbletet, míg a második 4 kukoricaév 0.9 t/ha többletet produkált a K-trágyázás nyomán. Úgy tűnik a talaj K-szolgáltató képessége csökken az idők folyamán, ill. a K-trágyázás hatékonysága emelkedik.

6. táblázat A 17-A jelű OMTK kísérlet repce magtermése 1985-ben és az őszi búza utáni kukorica 4 éves átlagok, t ha⁻¹ (Karbonátos csernozjom vályogtalaj, Nagyhörccsök, Mezőföld)

N szintek	P szintek	1985		1969-1981		1989-2001	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	0.39	-	6.12	-	6.04	-
1	0	0.65	0.72	7.00	7.60	7.40	7.42
1	1	1.52	1.54	7.72	8.49	8.21	9.56
1	2	1.64	1.59	8.35	8.11	7.41	8.79
2	0	0.62	0.94	6.71	7.25	6.93	7.44
2	1	1.72	1.90	8.10	8.28	8.22	9.54
2	2	1.83	1.86	8.26	8.94	7.51	8.41
3	0	0.51	0.89	5.36	6.91	6.74	7.96
3	1	1.82	2.07	8.06	8.97	8.16	9.42
3	2	1.78	1.98	8.69	8.28	7.53	8.42
4	3	-	1.90	-	8.23	-	6.76
SzD _{5%}		0.22		0.61		0.76	
N-szintek (P átlagában)							
1		1.27	1.28	7.69	8.06	7.68	8.58
2		1.39	1.56	7.69	8.16	7.55	8.47
3		1.37	1.65	7.37	8.05	7.48	8.60
SzD _{5%}		0.13		0.35		0.43	
P-szintek (N átlagában)							
	0	0.59	0.85	6.36	7.25	7.03	7.61
	1	1.69	1.83	7.96	8.58	8.20	9.50
	2	1.75	1.81	8.43	8.44	7.48	8.56
SzD _{5%}		0.13		0.35		0.43	
NP-átlag		1.34	1.50	7.58	8.09	7.56	8.49

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban

A szántott réteg ammóniumlaktát (AL) oldható PK-tartalmáról tájékozódhatunk a 7. táblázatban összefoglalt eredmények alapján. Az adatokból látható, hogy az emelkedő P-trágyázási szintek és az évek kumulatív hatása nyomán a szántott réteg AL-oldható P₂O₅ készlete nagyságrendi változást szenvedett az extrém hiányos és az extrém túlsúlyos parcellákat összehasonlítva. Ami az AL-K₂O készletet illeti, tendenciájában nyomon követhető a feltalaj elszegényedése a K-ot nem kapott kontroll talajon. Mivel a K-ban gazdag melléktermés is elkerül a tábláról/kísérletből, becsléseink szerint forgónként átlagosan mintegy 400 kg ha⁻¹ K₂O elvonás történhetett. Az évente adott mérsékelt K-adagok jobbára a kivont K mennyiségét ellensúlyozhatják, fenntartva vagy enyhén növelve a szántott réteg K-készletét.

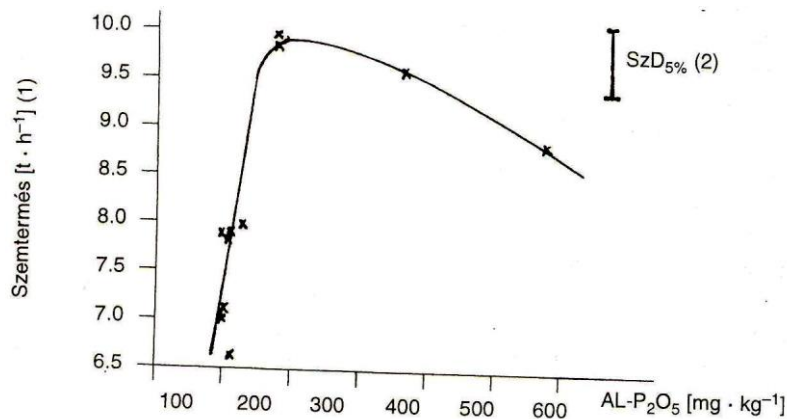
7. táblázat Műtrágyázás hatása a szántott réteg AL-oldható PK-tartalmára az A-17 jelű kísérletben

N szintek	P	Ammóniumlaktát (AL)-oldható P ₂ O ₅ , mg/kg				
		1980	1984	1988	1997	2004
1	0	67	55	55	49	59
1	1	107	106	103	146	170
1	2	186	185	204	394	392
2	0	71	56	57	53	58
2	1	104	97	96	129	149
2	2	166	180	190	366	365
3	0	64	76	58	41	61
3	1	118	90	99	153	184
3	2	148	171	183	357	402
4	3	184	237	265	586	643
	SzD _{5%}	34	55	18	39	36
N-szintek (P átlagában)						
1		120	115	121	197	207
2		114	111	114	182	190
3		110	112	113	183	216
	SzD _{5%}	15	20	10	22	21
P-szintek (N átlagában)						
	0	67	64	57	48	59
	1	110	98	99	143	168
	2	167	178	192	372	386
	3	184	237	265	586	643
	SzD _{5%}	15	20	10	22	21
	Átlag	132	144	153	187	214
K szintek	Ammóniumlaktát (AL)-oldható K ₂ O, mg/kg					
	1980	1984	1988	1997	2004	
0	186	176	130	115	132	
1	212	248	227	266	270	
SzD _{5%}	7	7	12	9	14	
Átlag	199	212	178	190	201	

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban. AL-K₂O tartalmak az NP kezelések átlagai

A korábban említett növekvő K-hatások minden bizonnyal összefüggnek a talaj oldható K-készletének csökkenésével. Az eredetileg K-mal kielégítően ellátott talaj a gyenge ellátottsági kategóriába került. A K-hatásokat tekintve megállapítható, hogy ezen a karbonátos vályog talajon kívánatos a szántott réteg AL-K₂O készletét a 200 mg·kg⁻¹ körüli tartományban tartani a stabil és kielégítő kukoricatermések elérése céljából. Ez a „kielégítő” K-ellátottsági szint a K-mérleg egyenlegét biztosító K-trágyázással tartható fenn.

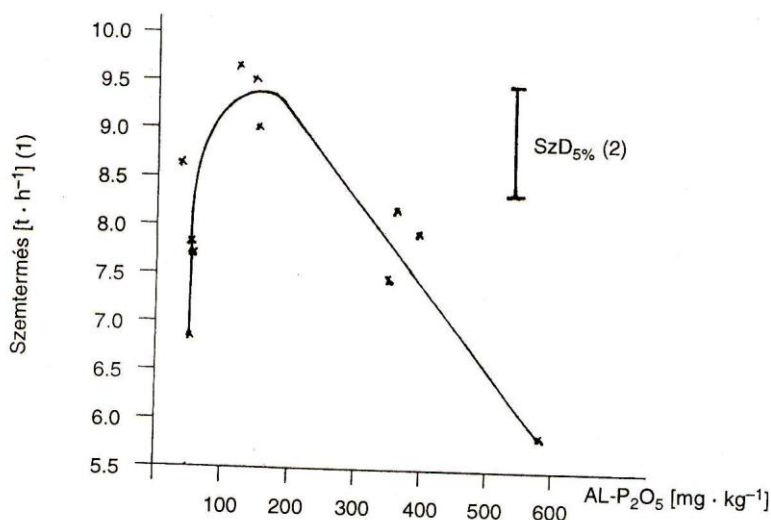
A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅ tartalma és a kukorica szemtermése közötti összefüggést az 1980, 1984. és 1988. években és a P-kezelések átlagaiban az 1. ábra szemlélteti. Az optimális AL-P₂O₅ tartalom a 150 mg·kg⁻¹ koncentráció körül található. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésvesztést jelenthet. A P-túlsúllyal nő az indukált Zn-hiány, a termésnövekedés az idővel egyre kifejezettebbé válhat. Így pl. 1993-ban a kísérlet 26. évében a trágyázatlan kontroll termése 5.4, a P-túlsúlyos kezelésé 5.5 t/ha mennyiséget tett ki, 2.5 t/ha termésvesztést produkálva a mérsékelt P-trágyázáshoz viszonyítva. Az utolsó kukorica évben 2001-ben a P-túlsúlyos parcellák termése 1.0 t/ha-ral maradt el a 34 éve trágyázásban nem részesült kontrollétól, ill. 3-4 t/ha termésvesztést jelentkezett a mérsékelt P-trágyázotthoz képest (2. ábra).



1. ábra A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅-tartalma és a búza utáni kukorica szemtermése közötti összefüggés az 1980., 1988. és az 1997. év átlagában (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

A P-túlsúly által kiváltott Zn-hiány ill. termésdepresszió évenként eltérő mértékben jelentkezik, van tehát „évhatás”. Mindez abból is adódhat, hogy a P és a Zn talajbani oldhatósága ill. felvehetősége eltérő lehet. A környéken gazdálkodó üzemek figyelmét a P-túltrágyázás veszélyeire már korábban felhívtuk. A volt Mezőfalvai Mezőgazdasági Kombinát trágyázási gyakorlatának áttekintése után kiderült, hogy a táblák egy részének P-ellátottsága nemkívánatos mértékben megemelkedett. A helyszíni talaj- és

növényvizsgálatok, valamint az üzemi tápelemmérlegek adatai alapján javasoltuk a P-műtrágyák használatának mintegy 50%-os mérséklését és egyidejűleg a Zn-érzékeny kukorica Zn-trágyázását, ill. az őszi búza Cu-trágyázását (Kádár *et al.* 1981).



2.ábra A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅-tartalma és a búza utáni kukorica szemtermése közötti összefüggés a 2001.évben (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Összefoglalás

Az OMTK A-17 jelű NPK műtrágyázási kísérletet 1967 őszen állítottuk be 20 kezeléssel és 4 ismétléssel, összesen 80 parcellával búza-kukorica-kukorica-borsó forgóban. Jelen munkánkban az 1968-2001. között, tehát a kísérlet 34 éve alatt kapott 10 kukoricaév eredményeit ismertetjük. A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben mintegy 5% CaCO₃-ot, 3% humuszt és 22% agyagot tartalmaz, N-nel és K-mal eredetileg kielégítően, P-ral és Zn-vel gyengén ellátott. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékenynek minősül 550-600 mm átlagos éves csapadékösszeggel. Műtrágyaként pétisót, szuperfoszfátot és kálisót alkalmaztunk. Levonható főbb következtetések:

A trágyázatlan kontroll parcellák szemtermése 3.9-7.7 t/ha, az optimális NPK kezelésben 8.8-10.9 t/ha között változott a vizsgált években. Termésmaximumok a 150 kg/ha/év N-adaghoz, ill. a 150-200 mg·kg⁻¹ ammóniumlaktát (AL)-oldható P₂O₅ és K₂O tartalomhoz kötődtek a szántott rétegben.

Az önmagában adott mérsékelt 50-100 kg/ha/év N-trágyázás a termést növeli, azonban az e feletti egyoldalú N-trágyázás nyomán a szemtermés általában visszaesik. A P-hatások kifejezetté válnak a nagyobb N-szinteken 2-4 t/ha szemterméstöbbleteket eredményezve. Csak a mérsékelt 50-60 kg/ha/év P₂O₅ adagok bizonyulnak hatékonyak. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésvesztéseket okozhat.

Az utolsó kukoricaévben, 2001-ben az extrém P-túlsúlyos parcellák termése a 34 éve trágyázatlan kontroll termésétől is 1 t/ha-ral elmaradt. A P-túlsúly által kiváltott Zn-hiány nyomán 3-4 t/ha termésveszteség alakult ki az optimális/mérsékelt P-ellátottsághoz viszonyítva.

A trágyahatások időfüggők, mert változik a talaj összetétele, elemkínálata. Az induláskori 180-200 mg·kg⁻¹ AL-K₂O tartalom a 3 évtized alatt 120-130 mg·kg⁻¹ értékre, a 80 mg·kg⁻¹ AL-P₂O₅ készlet 50-60 mg·kg⁻¹ értékre süllyedt, mellyel az emelkedő PK-hatások összefüggtek. Közelítően a forgó növényi felvételét tükröző 50-60 kg·ha⁻¹·év⁻¹ P₂O₅, ill. 100-150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ K₂O adagokkal a szántott réteg oldható AL-PK készlete fenntartható. A felvételt 2-3-szorosan meghaladó P-trágyázás nyomán a feltalaj AL-P₂O₅ tartalma nagyságrenddel dúsult.

A repce magtermését az együttes NPK trágyázás 5-szörösére növelte. Meghatározónak a P-trágyázás bizonyult.

Irodalom

- Blaskó L. – Debreczeni Bné – Holló S. – Kadlicskó B. – Sárvári M. (Szerk.: 1998.)* Mútrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Csathó P. – Kádár I. – Sarkadi J. (1989):* A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 38:69-76.
- Csathó P. (1992):* K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 41:241-260.
- Debreczeni B. – Debreczeni Bné (1994):* Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Egnér, H. – Riehm, H. – Domingo, W.R. (1960):* Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K. Lantbr. Högsk. Ann. 26:199-215.
- Kádár I. (1998):* Mútrágyázás hatása a talaj termékenységére mészlepedékes csernozjom talajon. Nagyhőrcsök. In: Mútrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. 55-68. Szerk.: Blaskó et al. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Kádár I. (1993):* Különböző szemléletek a tápanyag-utánpótlás alapelveiről. Agrokémia és Talajtan. 42:408-420.
- Kádár I. – Márton L. (2005):* Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben 1968-2004. között. Növénytermelés. 54: (In print)
- Lásztity B. – Csathó P. (1994):* Tartós NPK műtrágyázás hatásának vizsgálata búza-kukorica dikultúrában. Növénytermelés. 43:157-167.
- Németh T. (1995):* Nitrogen in Hungarian Soils – nitrogen management relation to groundwater protection. J. Contam. Hydrology. 20:185-208.
- Németh T. (1996):* Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1984):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. I. NP műtrágyahatások az ősibúza kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 33:355-374.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1985):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. II. K-hatások az ősibúza kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 34:130-136.
- Sarkadi J. – Balla Ané (1990):* Mútrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. III. Kukorica-kísérletek. Agrokémia és Talajtan. 39:103-110.

3. Kukorica utáni kukorica kísérlet eredményei 1970-2006 között

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A különböző adagú és arányú NPK műtrágyák hatásának vizsgálata céljából 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az úgynevezett egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az eredetileg 26 termőhelyen azonos metodikával indított nagyszabású kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott kollektíva dolgozta ki Láng Géza akadémikus vezetésével. A kísérleteket „terített” vetésforgóban évente fokozatosan állították be. Minden egyes kísérlet külön kódszámot kapott a beállítás évének és a forgónak megfelelően. Az országos kísérletsorozat főbb eredményeit átfogóan az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent „Trágyázási Kutatások 1960-1990” című monográfia mutatta be (Szerk.: *Debreczeni B. és Debreczeni Bné* 1994), valamint a *Blaskó et al.* (1998) szerkesztésében megjelent „Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain” című tanulmánykötet foglalta össze. A mélyfúrások illetve a NO₃-N mozgásával kapcsolatos eredményekről *Németh* (1995, 1996) számolt be.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete mezőföldi/nagyhőrcsöki kísérleti telepén elkezdett kísérleti munkáról, annak eredményeiről először *Sarkadi és munkatársai* (1984, 1985) tudósítottak. Később a kísérletek részeredményeiből több közlemény is napvilágot látott (*Csathó et al.* 1989, *Sarkadi és Balláné* 1990, *Csathó* 1992, *Lásztity és Csathó* 1994, *Kádár* 1998). Továbbiakban az 1967 őszen indult A-17 jelű tartamkísérlet 1970-2006. évek közötti kukorica utáni kukorica termések adatait ismertetjük, melyek átfogó közlésére még nem kerülhetett sor. Az 1968-2004. évek búza, valamint a búza utáni kukorica terméseinek adatait korábban taglaltuk (*Kádár és Márton* 2005, 2007).

Anyag és módszer

Az A-17 jelű kísérletet 1967 őszen állították be 20 kezeléssel x 4 ismétlésben, összesen 80 parcellával. A N és a P hatását 3-3, a K hatását 2-2 szinten vizsgáljuk az összes lehetséges 3x3x2=18 kombinációban. Mindezt kiegészíti a kezeletlen kontroll és egy megemelt NPK-adag. A split-plot elrendezésen belül a K-kezelések a főparcellát, míg a N és P kombinációk az alparcellákat jelentik. Műtrágyák adagjai a 4. és a 21. év után változtak, megemelkedtek a kor elvárásainak megfelelően. Eltértek növényfajonként is. Amint az *1. táblázatban* látható, a 4. évet követően mindhárom növényfaj azonos P-trágyázásban részesül. A borsó mérsékelt N-adagokkal, míg a kukorica a nagyobb K-adagokkal tűnik ki.

Az A-17 jelű kísérlet pillangós forgót takar búza-kukorica-kukorica-borsó jelzőnövényekkel. 1970-ben tavaszi árpa, 1985-ben tavaszi repce került az egyik kukorica helyére. A *2. táblázatban* feltüntettük a kísérlet évét, korát, a vetett növényfajt és fajtát. A növényfajok követik a köztermesztésben beálló változásokat, az alkalmazott agrotechnika szintén megfelel az üzemekben szokásosnak. Eltérést a parcellánkénti mérések jelentik a kísérleti jellegből adódóan, valamint a kézzel végzett parcellánkénti műtrágyázás. A P és K műtrágyákat, valamint a N adagjának felét összettel szántás előtt, a N másik felét fejtrágyaként szórjuk ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában. A kísérleti telep átlagos középhőmérséklete 11 °C, a csapadék átlagos éves mennyisége 590 mm, szárazságra hajló, az Alföldhöz hasonló. A löszön képződött mészeledékes talaj

1. táblázat Műtrágyaadagok az A-17. jelű OMTK kísérletben 1968-2007 között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

NPK Szintek	1-4.év	5-20.év	21.évtől	1-4.év	5-20.év	21. évtől	1-4. év	5-20.év	21.évtől
	búza alá adott			kukorica alá adott			borsó alá adott		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100	0	0	50
N ₂	70	100	150	80	100	150	20	32	75
N ₃	105	150	200	120	150	200	40	65	100
N ₄	140	200	250	160	200	250	40	97	125
P ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60	40	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120	80	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180	120	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200	80	100	100

Megjegyzés: Az adagok N, P₂O₅, K₂O kg/ha/év trágyázást jelentenek. Az 1970-ben termesztett tavaszi árpa a búzával azonos műtrágyázásban részesült.

2. táblázat Az A-17. jelű OMTK kísérlet növényi sorrendje 1968-2007 között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény fajtája	Kísérlet éve	kora	Növényfaj Forgó	Növény Fajtája
1968	1	Őszi búza	Bezosttája 1.	1988	21	Őszi búza	Mv 19
1969	2	Kukorica	Mv 602	1989	22	Kukorica	Pi 3901
1970	3	Tavaszi árpa	MFB 104	1990	23	Kukorica	Pannónia 3737
1971	4	Borsó	IP 2	1991	24	Borsó	IP 3
1972	5	Őszi búza	Bezosttája 1.	1992	25	Őszi búza	Mv 21
1973	6	Kukorica	Mv Sc 580	1993	26	Kukorica	Stira
1974	7	Kukorica	Mv Sc 580	1994	27	Kukorica	Stira
1975	8	Borsó	IP 3	1995	28	Borsó	IP 3
1976	9	Őszi búza	Kavkaz	1996	29	Őszi búza	Mv 21
1977	10	Kukorica	Mv Sc 580	1997	30	Kukorica	Stira
1978	11	Kukorica	Mv Sc 580	1998	31	Kukorica	Stira
1979	12	Borsó	IP 3	1999	32	Borsó	Janus
1980	13	Őszi búza	GK 3	2000	33	Őszi búza	Mv-Magvas
1981	14	Kukorica	Sze Sc 444	2001	34	Kukorica	Juventus
1982	15	Kukorica	Sze Sc 444	2002	35	Kukorica	Juventus
1983	16	Borsó	IP 3	2003	36	Borsó	Janus
1984	17	Őszi búza	Mv 4	2004	37	Őszi búza	Mv-Magvas
1985	18	Tav. Repce	Wester	2005	38	Kukorica	(PR38A24)
1986	19	Kukorica	Pi 3732	2006	39	Kukorica	(PR38A24)
1987	20	Borsó	IP 3	2007	40	Borsó	(JANUS)

CaCO₃ tartalma átlagosan 3-5 %, humuszkészlete 2.5-3.0 %, agyagtartalma 20-22 % a szántott rétegben. A pH(KCl) 7.3, AL-P₂O₅ 60-80 mg kg⁻¹, AL-K₂O 180-200 mg kg⁻¹, KCl-oldható Mg 150-180 mg kg⁻¹. A KCl+EDTA oldható Mn 80-150, Cu 2-3, Zn 1-2 mg kg⁻¹. A szaktanácsadásban elfogadott irányelvek szerint ezek az adatok kielégítő K, Mg és Mn, közepes N és Cu, valamint gyenge P és Zn ellátottságot jelentenek.

Talajmintavételre 1980., 1984., 1988., 1997., 2004. években került sor. Parcellánként 20-20 pontból botfúróval vettünk átlagmintákat a 0-20 cm feltalajból. Mintákban meghatároztuk az ammóniumlaktát oldható P és K tartalmakat *Egnér et al. (1960)* módszerével, hogy nyomon kövessük a parcellák oldható P és K elemkészleteiben beálló változásokat. Összefüggést kívántunk keresni ezen túlmenően a kukorica szemtermése és a talajvizsgálati adatok között, hogy a műtrágyázást irányító talajvizsgálati határértékeket/optimumokat a szaktanácsadás számára kidolgozzuk.

Kísérleti eredmények

A kísérleti helyen mérjük a csapadékot. A 3. táblázatban az 1968-2006. években lehullott éves, valamint a tenyészidő alatti mennyiségeket tüntettük fel. A legközelebbi meteorológiai állomáson mért 50 éves átlag 590 mm év⁻¹, a tenyészidő alatti IV-IX. havi összeg pedig 316 mm. A bemutatott adatok szerint a sokéves átlagot legalább 50 mm-rel meghaladó kedvező évek mindössze 6 minősül: 1969., 1974., 1975., 1998., 1999. és 2005.

3. táblázat A csapadék megoszlása évenként és az őszi búza tenyészideje alatt (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhorcsök, Mezőföld)

Időszak, Évek	Éves összeg	Tenyészidő alatt X-VI. hó	Időszak, évek	Éves Összeg	Tenyészidő alatt X-VI. hó
1968	358	177	1988	518	370
1969	681	479	1989	468	328
1970	584	473	1990	498	322
1971	407	328	1991	522	276
1972	619	332	1992	471	380
1973	483	320	1993	487	292
1974	755	427	1994	370	416
1975	681	523	1995	483	329
1976	576	306	1996	407	234
1977	522	453	1997	319	211
1978	543	425	1998	682	417
1979	535	330	1999	830	574
1980	603	401	2000	384	355
1981	516	456	2001	622	387
1982	496	404	2002	476	253
1983	421	367	2003	425	231
1984	619	358	2004	607	516
1985	562	428	2005	649	345
1986	440	467	2006	475	330
1987	603	441	2007	-	-

Megjegyzés: A legközelebbi állomáson Sárbogárdon mért 50 éves átlag 590 mm, a tenyészidő alatti X-VI. havi összeg 432 mm

Viszont 22. évben elmarad az éves csapadék összege legalább 50 mm-rel a sokéves átlagtól. Extrém száraz évnek tekinthető 1968., 1994., 1997. és 2000, amikor az éves csapadék több mint 200 mm-rel maradt el a sokéves átlagtól. Csapadékban legszegényebb évünk 1997 volt 319 mm, leggazdagabb az 1999. év 830 mm esővel. Ugyanezen években a tenyészidő IV-IX. hónapjai alatt 183, ill. 564 mm volt a mért csapadék, tehát az eltérés több mint 3-szorosnak adódott.

Kukorica után kukoricát 1968-2006. között a vizsgált 39 év alatt 9 esetben vetettünk: 1974., 1978., 1982., 1986., 1990., 1994., 1998., 2002., 2006. Amint a 4. táblázatban látható, 1974 - 1986. között a trágyázatlan kontroll szemtermését az önmagában adott N₁ kisebb N-adag igazolhatóan és átlagosan mintegy 2 t ha⁻¹-ral növeli. Viszont az N₃-szinten PK nélkül már a szemtermés visszaesik az egyoldalú N-túlsúly nyomán. A P-hatások különösen kifejezetté válnak a nagyobb N-szinteken és a későbbi években 1-2 t ha⁻¹ terméstartományokat produkálva K-trágyázás nélkül. A K-hatások még nem látványosak ezen a K-mal közepesen ellátott vályogtalajon 1974-ben, ezt követően azonban 1.0 - 1.5 t ha⁻¹ szemterméstartományt adtak az NP-kezelésekhez viszonyítva. A megnövelt N₃P₂, ill. N₄P₃ szinteken fellép a depresszió, mely 1982-ben és 1986-ban a K-főparcellákon már az 1 t ha⁻¹ mennyiséget is elérhette vagy meghaladhatta.

4. táblázat Az A-17 jelű OMTK kísérlet kukorica utáni kukorica légszáraz szemtermése 1974-1986. között, t ha⁻¹ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N	P	1974		1978		1982		1986	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	4.5	-	3.3	-	4.0	-	5.9	-
1	0	6.6	6.2	6.0	6.6	5.8	6.2	7.2	7.5
1	1	6.1	6.3	5.9	6.6	6.7	6.6	8.1	8.5
1	2	5.7	5.7	6.0	6.0	6.6	6.4	8.0	8.2
2	0	6.2	6.1	5.7	7.1	5.8	6.8	7.3	7.9
2	1	6.6	6.8	6.6	8.1	7.6	8.9	8.4	9.0
2	2	6.3	6.8	7.2	8.2	7.7	8.8	8.2	8.9
3	0	5.4	6.1	5.4	7.0	5.6	6.6	6.6	7.9
3	1	6.4	7.3	6.7	8.1	7.8	9.4	8.2	8.8
3	2	6.3	6.7	6.6	8.0	8.1	8.4	8.3	9.2
4*	3	-	6.5	-	8.0	-	7.8	-	8.2
N-hatás (P átlagában)									
	1	6.2	6.1	6.0	6.4	6.4	6.4	7.8	8.1
	2	6.3	6.6	6.5	7.8	7.1	8.2	8.0	8.6
	3	6.0	6.7	6.2	7.7	7.2	8.2	7.7	8.6
P-hatás (N átlagában)									
	0	6.0	6.1	5.7	6.9	5.8	6.5	7.0	7.8
	1	6.4	6.8	6.4	7.6	7.4	8.3	8.2	8.8
	2	6.1	6.4	6.6	7.4	7.5	7.8	8.2	8.8
NP átlag		6.2	6.4	6.2	7.3	6.9	7.6	7.8	8.4
*S _{ZD} 5%		0.5		0.5		0.6		0.4	
**S _{ZD} 5%		0.3		0.3		0.4		0.3	

* S_{ZD}5% NxP kezelések; ** S_{ZD}5% N és P átlagokra

A második 4 kukoricaév adatait az 5. táblázatban tanulmányozhatjuk az 1990-2002. években. Az extrém azályos évben 1990-ben a kukorica szemtermése felére zuhant a növekvő NP-trágyázással. A maximális 2.5 t ha⁻¹ termést a 23 éve trágyázásban nem részesült talajon kaptuk. A kukorica számára kritikus július 15-augusztus 15. közötti időszak csapadéka ebben az évben mindössze 15-20 %-át érte el a kedvező évekének. A Fejér megyei átlagos kukoricatermés 2.2 t ha⁻¹ körüli volt, a legalacsonyabb a megyék között 1990-ben. Mindehhez hozzájárulhatott a megye talajainak P-feltöltöttsége, kedvező tápanyagállapota. *Baranyai et al. (1987)* szerint a megye talajainak mintegy 2/3-án a P-ellátottság megfelelő volt, sőt kifejezetten nagy, 200 mg kg⁻¹ AL-P₂O₅ feletti a talajok 40 %-án.

5. táblázat Az A-17 jelű OMTK kísérlet kukorica utáni kukorica légszáraz szemtermése 1990-2002. között, t ha⁻¹ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhorcsök, Mezőföld)

N	P	1990		1994		1998		2002	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	2.5	-	3.4	-	4.5	-	3.8	-
1	0	2.0	2.1	5.1	5.6	8.1	8.4	7.0	7.0
1	1	1.6	1.6	5.9	6.3	9.2	9.5	6.8	8.4
1	2	1.5	2.0	5.8	6.0	8.6	9.2	6.0	8.0
2	0	1.7	2.1	5.2	5.4	7.5	8.7	6.2	6.8
2	1	1.6	1.8	5.7	6.5	9.1	10.2	7.6	9.5
2	2	1.1	1.5	5.5	5.9	8.4	9.0	5.6	8.5
3	0	1.7	2.0	5.1	5.5	7.5	8.9	5.9	7.0
3	1	1.4	1.5	5.5	6.2	8.3	9.5	7.9	9.3
3	2	1.2	1.5	5.3	6.1	8.8	9.6	7.1	7.9
4*	3	-	1.5	-	5.2	-	8.1	-	6.9
N-hatás (P átlagában)									
	1	1.7	1.9	5.6	6.0	8.6	8.8	6.6	7.8
	2	1.5	1.8	5.4	5.9	8.4	8.8	6.5	8.3
	3	1.4	1.6	5.3	6.0	8.2	8.8	7.0	8.1
P-hatás (N átlagában)									
	0	1.8	2.1	5.1	5.5	7.7	8.6	6.4	6.9
	1	1.5	1.6	5.7	6.4	8.9	9.8	7.5	9.1
	2	1.3	1.6	5.5	6.0	8.6	9.3	6.2	8.2
NP átlag		1.5	1.8	5.4	6.0	8.4	9.2	6.7	8.1
*SzD _{5%}		0.4		0.6		0.8		0.9	
**SzD _{5%}		0.3		0.3		0.5		0.5	

* SzD_{5%} NxP kezelésekre; **SzD_{5%} N és P átlagokra

Már *Woodward* 1699-ben Angliában végzett híres menta kísérletében konstatálta, hogy a víz szennyezettségének mértékével, azaz a tápanyagkínálattal nőtt a 77 napos növény tömege és vízfogyasztása, azonban a fajlagos vízfogyasztás meredeken csökkent (*In: Russel, 1973*). Amennyiben a növény tápanyaghiányban szenved, a transpirációs együttható megnő, a vízhasznosulás romlik. Ismert, hogy különösen a K gyakorolhat kedvező hatást a vízfogyasztásra a növényi sejtek ozmotikus potenciálját csökkentve és ezzel a növény vízvesztését mérsékelve (*Mengel és Kirkby, 1987*). A talaj vízvesztését

nemcsak a rajta képződött növényállomány által elpárologtatott transpirációs víz csökkenti, hanem a talaj követlen vízleadása is, az evaporáció. A kettő összege az evapotranspiráció. Az evaporáció jelentőssé válhat amennyiben a növényállomány ritka, fejletlen vagy a talaj fedetlen. *Kallsen et al.* (1984) összefüggéseket keresett a N-trágyázás, az árpa szemtermése, a transpiráció, evaporáció, ill. a fajlagos vízfogyasztás között és az evaporáció szerepére hívta fel a figyelmet az alábbi adatok szemléltetésével:

N-trágyázás N kg ha ⁻¹	Szemtermés t ha ⁻¹	Transpiráció mm	Evaporáció Mm	Vízfelhasználás mm t ⁻¹ szem
30	1,0	85	235	314
125	1,6	121	278	242
225	2,7	217	212	159

A víz és a tápanyagok mozgása egy dinamikus talaj-növény rendszerben megy végbe. A mozgás sebessége határozza meg a tápelemek felvehetőségét, mivel a növényi gyökerek a talaj, ill. a tápanyagok csak kis részével kerülnek kapcsolatba. Az igényelt tápelemek nagyobb részének a növényi gyökerekhez kell áramolnia. Ez a transzport diffúzóval, vagy tömegáramlással megy végbe a talajoldatban. A transzport főként a növényi igényétől, a talajoldal elemkoncentrációjától és a talaj víztartalmától függhet. Mindez különösen olyan elemeket érinthet mint a P és a K, melyek nagyrészt diffúzió útján jutnak a növénybe. A talaj víztartalma megszabja a diffúzió mértékét, száraz talajban a diffúziós csatornák visszaszorulnak, elhalnak. Csapadékból években ezzel szemben a talaj P- és K-formái is jobban oldódnak és a kiterjedt diffúziós utak a növény ellátottságát kielégítően biztosíthatják.

Mérsékeltlen száraz években nagyobb PK-hatásokat tapasztalunk, érvényesülhet a talaj jobb PK-feltöltöttsége. Az első minimumot valójában a PK felvehetősége jelenti gyakran, az altalaj még kelégheti a növény vízigenyét. Hasonló eredményekre utalt korábban *Bruns* (1935) Németországban, aki a K-trágyázási szabadföldi kísérlete 11 éve alatt a legnagyobb K-hatásokat száraz években kapta. *Barber* (1959) az évhatásokat vizsgálva az USA-ban megállapította, hogy a legkisebb termésnövekedés száraz években minden esetben a PK-mal legjobban feltöltött parcellákon lép fel. *Van der Paauw* (1958) Hollandiában a nedves és száraz években mért K-hatásokat elemezve burgonya és cukorrépa növényeknél azt találta, hogy a kontroll termése 50 %-kal csökkent száraz évben, míg a K-mal feltöltött talajon a termésnövekedés teljesen elmaradhat.

Saját kísérletünk adatai szerint is a mérsékeltlen száraz években fellépő vízhiányt az erőteljesebb PK-trágyázás egy szintig ellensúlyozni képes a növény vízhasznosítását javítva még a Duna-Tisza közti homoktalajokon is, mérsékelve az igen kifejezett évhatásokat (*Kádár et al.* 1984). Országosan ez a helyzet dominált az 1970-es, 1980-as években. A már kifejezetten aszályos években viszont a műtrágya „termésnövekedést” tényezővé válhat, amennyiben első minimumba kerül a talaj vízhiánya. Gyakran a vegetációs periódus első felében a trágyázott parcellákon nagyobb zöldtömeg képződik elhasználva a limitált vízkészletet, a szemképződés így itt szorulhat vissza a legjobban (*Bocz 1995, Kádár 2007*).

Visszatérve az 5. táblázatban bemutatott adatokhoz megállapítható, hogy az 1994., 1998. és 2002 években az első N-adag termésmnövelő hatása igen erőteljes és az évekkel növekvő, a 3 t ha⁻¹ többleteket is eléri vagy meghaladja. Az önmagában adott N

megnövelt adagjai igazolható további növekedést általában már nem eredményeznek. A P-hatások maximumait a mérsékelt P₁ szintek jelzik, az N₁P₂, N₂P₂ és az N₃P₂, ill. N₄P₃ kezeléskben a depresszió gyakran a meghatározó. A K-trágya termésmnövelő tényezővé vált, hatása idővel egyre jelentősebb. A főparcellák átlagában 1990-ben 0.3 t ha⁻¹, 1994-ben 0.4 t ha⁻¹, 1998-ban 0.8 t ha⁻¹, 2002-ben 1.4 t ha⁻¹ termésmöbbletet jelez. Az egyes kezeléseket tekintve azonban 2 t ha⁻¹-t is elérheti a K-trágyák által okozott termésmöbblet. A P-túlsúly által kiváltott terméscsökkenés oka korábbi részletes vizsgálataink szerint e talajon a P-Zn antagonizmus, a P-indukálta Zn-hiány (*Elek és Kádár 1975, Kádár 1987, Csathó 1992, Csathó et al. 1989, Kádár és Turán 2002*).

6. táblázat Az A-17 jelű OMTK kísérlet tavaszi árpa légszáraz szemtermése 1970-ben, ill. a kukorica utáni kukorica szemtermések 4-4 éves átlagai és a 2006. évi termése, t ha⁻¹ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N	P	1970		1974-1986		1990-2002		2006	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	1.1	-	4.4	-	3.6	-	4.8	-
1	0	1.6	1.8	6.4	6.6	5.6	5.8	8.6	8.9
1	1	2.1	2.1	6.7	7.0	5.9	6.5	8.2	11.1
1	2	2.1	2.0	6.6	6.6	5.5	6.3	8.3	10.6
2	0	1.6	1.7	6.2	7.0	5.2	5.8	8.3	9.8
2	1	2.1	2.3	7.3	8.2	6.0	7.0	8.7	12.6
2	2	2.3	2.4	7.4	8.2	5.2	6.2	7.8	11.0
3	0	1.3	1.6	5.8	6.9	5.1	5.8	8.4	10.9
3	1	2.2	2.4	7.3	8.4	5.8	6.6	11.2	12.3
3	2	2.5	2.5	7.3	8.1	5.6	6.3	8.4	12.2
4*	3	-	2.8	-	7.7	-	5.4	-	11.2
N-hatás (P átlagában)									
1		1.9	1.9	6.6	6.7	5.6	6.1	8.3	10.2
2		2.0	2.1	7.0	7.8	5.4	6.2	8.2	11.1
3		2.0	2.2	6.8	7.8	5.5	6.1	9.3	11.8
P-hatás (N átlagában)									
0		1.5	1.7	6.1	6.8	5.3	5.8	8.4	9.9
1		2.1	2.3	7.1	7.9	5.9	6.7	9.3	12.0
2		2.3	2.3	7.1	7.6	5.4	6.3	8.1	11.3
NP átlag		2.0	2.1	6.8	7.4	5.5	6.3	8.6	11.0
*SzD _{5%}		0.2		0.5		0.7		0.9	
**SzD _{5%}		0.1		0.3		0.4		0.5	

* SzD_{5%} NxP kezelésekre; **SzD_{5%} N és P átlagokra

Amint arra korábban utaltunk, 1970-ben tavaszi árpa került a kukorica helyére. A száraz tavasz nem kedvezett a tavaszi árpa fejlődésének, májusban mindössze 36 mm csapadék hullott. A trágyázatlan kontroll talajon 1 t ha⁻¹ körüli szemtermés képződött, mely az együttes NP, illetve NPK trágyázás nyomán 2-2.5 t ha⁻¹-ra emelkedett. Termésmdepresszió nem jelentkezett, sőt a maximális hozamok az N₃P₂, ill. N₄P₃K₁ kezelésekben képződtek. A 6. táblázatban bemutatjuk a 4 éves kukorica átlagterméseket is. Amint az adatokból látható az első 4 kukoricaév átlagosan és kereken 0.6 t ha⁻¹, míg a

második 4 kukoricaév 0.8 t ha^{-1} K-hatás szemtöbbletet produkált. A kontroll parcellák szemtermése közel megkétszereződött az együttes NPK trágyázással. A kedvező csapadékeloszlású 2006. évben a trágyahatások látványosak voltak, terméscsökkenés azonban itt is kifejezetté vált, különösen NP-túlsúlyt magába foglaló N_3P_2 , ill. $\text{N}_4\text{P}_3\text{K}$ kezelésekben. Az átlagos K-hatás elérte a 2.4 t ha^{-1} -t a főparcellák átlagában. Úgy tűnik, a talaj K-szolgáltató képessége csökkent az idők folyamán, így a K-trágya hatékonysága a kísérlet 39. évére ugrásszerűen megemelkedett.

A szántott réteg ammóniumlaktát (AL) oldható PK-tartalmáról tájékozódhatunk a 7. táblázatban összefoglalt eredmények alapján. Az adatokból látható, hogy az emelkedő P-trágyázási szintek és az évek kumulatív hatása nyomán a szántott réteg AL-oldható P_2O_5 készlete nagyságrendi változást szenvedett az extrém hiányos és az extrém túlsúlyos parcellákat összehasonlítva. Ami az AL- K_2O készletet illeti, tendenciájában nyomon követhető a feltalaj elszegényedése a K-ot nem kapott kontroll talajon. Mivel a K-ban gazdag melléktermés is elkerül a tábláról/kísérletből, becsléseink szerint forgónként átlagosan mintegy $400\text{-}500 \text{ kg ha}^{-1}$ K_2O elvonás történhetett. Az évente adott mérsékelt K-adagok jobbára a kivont K mennyiségét ellensúlyozhatják, fenntartva vagy enyhén növelve a szántott réteg K-készletét.

7. táblázat Mütrágyázás hatása a szántott réteg AL-oldható PK-tartalmára az A-17 jelű kísérletben

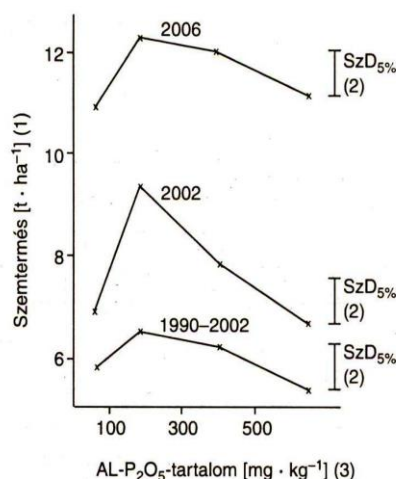
P- szintek		Ammóniumlaktát (AL)-oldható P_2O_5 , mg/kg				
		1980	1984	1988	1997	2004
0	67		64	57	48	59
1	110	98		99	143	168
2	167	178		192	372	386
3	184	237		265	586	643
SzD _{5%}	15	20		10	22	21
Átlag	132	144		153	187	214

K-szintek		Ammóniumlaktát (AL)-oldható K_2O , mg/kg				
		1980	1984	1988	1997	2004
0	186	176		130	115	132
1	212	248		227	266	270
SzD _{5%}	7	7		12	9	14
Átlag	199	212		178	190	201

Megjegyzés: A N és P-mütrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban, AL- K_2O tartalmak az NK-kezelések az AL- K_2O -tartalmak az NP-kezelések átlagában

A korábban említett növekvő K-hatások minden bizonnyal összefüggnek a talaj oldható K-készletének csökkenésével. Az eredetileg K-mal kielégítően ellátott talaj a gyenge ellátottsági kategóriába került. A K-hatásokat tekintve megállapítható, hogy ezen a karbonátos vályog talajon kívánatos a szántott réteg AL- K_2O készletét a 200 mg kg^{-1} körüli tartományban tartani a stabil és kielégítő kukoricatermések elérése céljából. Ez a „kielégítő” K-ellátottsági szint a K-mérleg egyenlegét biztosító K-trágyázással tartható fenn.

A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅ tartalma és a kukorica szemtermése közötti összefüggést az 1980., 1984. és 1988. években és a P-kezelések átlagaiban az 1. ábra szemlélteti. Az optimális AL-P₂O₅ tartalom a 150 mg kg⁻¹ koncentráció körül található. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésvesztést jelenthet. A P-túlsúllyal nő az indukált Zn-hiány, a termés csökkenés az idővel egyre kifejezettebbé válhat. A P-túlsúly által kiváltott Zn-hiány ill. termésdepresszió évenként eltérő mértékben jelentkezik, van tehát „évhatás”. Mindez abból is adódhat, hogy a P és a Zn talajbani oldhatósága ill. felvehetősége eltérő lehet. A környéken gazdálkodó üzemek figyelmét a P-túltrágyázás veszélyeire már korábban felhívtuk. A volt Mezőfalvai Mezőgazdasági Kombinát trágyázási gyakorlatának áttekintése után kiderült, hogy a táblák egy részének P-ellátottsága nemkívánatos mértékben megemelkedett. A helyszíni talaj- és növényvizsgálatok, valamint az üzemi tápelemmérések adatai alapján javasoltuk a P-műtrágyák használatának mintegy 50%-os mérséklését és egyidejűleg a Zn-érzékeny kukorica Zn-trágyázását, ill. az őszi búza Cu-trágyázását (Kádár *et al.* 1981).



1. ábra A talaj szántott rétegének AL-P₂O₅-tartalma és a kukorica utáni kukorica-szemtermés összefüggése az OMTK A-17 kísérletben, eltérő években (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Összefoglalás

Az OMTK A-17 jelű NPK műtrágyázási kísérletet 1967 őszén állítottuk be 20 kezeléssel és 4 ismétléssel, összesen 80 parcellával búza-kukorica-kukorica-borsó forgóban. Jelen munkánkban az 1970-2006. között, tehát a kísérlet 39 éve alatt kapott 10 kukoricaév eredményeit ismertetjük. A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben mintegy 3-5 % CaCO₃-ot, 2,5-3,0 % humuszt és 20-22 % agyagot tartalmaz, N-nel és K-mal eredetileg kielégítően, P-ral és Zn-kel gyengén ellátott. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékenynek minősül 550-600 mm átlagos éves csapadékösszeggel. Műtrágyaként pétisót, szuperfoszfátot és kálisót alkalmaztunk. Levonható főbb következtetések:

A trágyázatlan kontroll parcellák szemtermése 3.3-5.9 t ha⁻¹, az optimális NPK kezelésben 7.3-12.3 t ha⁻¹ között változott a vizsgált években. Termésmaximumok a 100-150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-adaghoz, ill. a 150-200 mg·kg⁻¹ ammóniumlaktát (AL)-oldható P₂O₅ és 200 mg kg⁻¹ feletti AL-K₂O tartalomhoz kötődtek a szántott rétegben. A talajbani optimális oldható AL-K₂O határérték megítélését a kísérleti elrendezés nem tette lehetővé, de az e talajon folyt egyéb K-hatásgörbe kísérletek eredményei szerint a K-hatások 200 mg·kg⁻¹ feletti AL-K₂O tartalomnál már általában nem igazolhatók.

Az önmagában adott mérsékelt 50-100 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-trágyázás a termést növeli, azonban az e feletti egyoldalú N-trágyázás nyomán a szemtermés általában visszaesik. A P-hatások kifejezetté válnak a nagyobb N-szinteken 2-4 t ha⁻¹ szemterméstöbbleteket eredményezve. Csak a mérsékelt 50-60 kg·ha⁻¹·év⁻¹ P₂O₅ adagok bizonyultak hatékonyak. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésveszteséget okozott.

Az extrém aszályos 1990. évben a maximális 2.5 t·ha⁻¹ szemtermést a 23 éve nem trágyázott kontroll talajon kaptuk. Trágyázással a termés felére zuhant. A kritikus időszak (július 15-augusztus 15) csapadéka 15-20 %-át tette ki a kedvező évjáratokénak.

A trágyahatások időfüggők, mert változik a talaj összetétele, elemkínálata. Az induláskori 180-200 mg kg⁻¹ AL-K₂O tartalom a 3 évtized alatt 120-130 mg·kg⁻¹ értékre, a 80 mg·kg⁻¹ AL-P₂O₅ készlet 50-60 mg·kg⁻¹ értékre süllyedt, mellyel az emelkedő PK-hatások összefüggtek. Közeliően a forgó növényi felvételét tükröző 50-60 kg·ha⁻¹·év⁻¹ P₂O₅, ill. 100-150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ K₂O adagokkal a szántott réteg oldható AL-PK készlete fenntartható. A felvételt 2-3-szorosan meghaladó P-trágyázás nyomán a feltalaj AL-P₂O₅ tartalma nagyságrenddel dúsult.

A tavaszi árpa szemtermése 1970-ben a kontroll talajon 1 t·ha⁻¹ körülnek adódott, melyet az együttes NP, ill. NPK trágyázás 2-2.5 t·ha⁻¹-ra növelt. Termésdepresszió nem jelentkezett, sőt a maximális hozamok az N₃P₂, ill. N₄P₃K kezelésben képződtek.

Irodalom

- Baranyai F.-Fekete A-Kovács I. (1987):* A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Barber S. A. (1959):* Relation of fertilizer placement to nutrient uptake and crop yield. Agron. J. 51:97-99.
- Blaskó L. – Debreczeni Bné – Holló S. – Kadlicskó B. – Sárvári M. (Szerk.: 1998.):* Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Bocz E. (1995):* Vízellátottsági és öntözési jelzés. XXIV. évf. November havi zárójelentés. DATE Növénytermesztéstan Tanszék. Debrecen.
- Bruns, W. (1935):* Untersuchungen über Nährstoffaufnahme und Wasserhaushalt der Ackerbohne. Journ. f. Landwirtschaft. 83:285-325.
- Csathó P. – Kádár I. – Sarkadi J. (1989):* A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 38:69-76.
- Csathó P. (1992):* K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 41:241-260.
- Debreczeni B. – Debreczeni Bné (1994):* Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Egnér, H. – Riehm, H. – Domingo, W.R. (1960):* Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K. Lantbr. Högsk. Ann. 26:199-215.

- Elek É.-Kádár I. (1975):* A P-műtrágyázás hatása a makro- és mikroelemek felvételére. In: A mezőgazdaság kemizálása. Ankét. 89-93. NEVIKI-KAE. Keszthely.
- Kallsen, C. E. – Sammis, T. W. – Gregory, E. J. (1984):* Nitrogen and yield as related to water use of spring barley. *Agron. J.* 76:59-64.
- Kádár I. (1987):* A kukorica ásványi tápanyagellátása. *Növénytermelés.* 36:57-66.
- Kádár I. (1998):* Műtrágyázás hatása a talaj termékenységére mészlepedékes csernozjom talajon. Nagyhörccsök. In: Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. 55-68. Szerk.: Blaskó et al. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Kádár I. (2007):* Soil water supply and response to fertilizers. In: 42nd Croatian and 2nd Internat. Symposium on Agric. Proc. 416-419. Ed.: Pospisil, M. Univ. of Zagreb. Croatia.
- Kádár I. – Márton L. (2005):* Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben 1968-2004. között. *Növénytermelés.* 54:111-122.
- Kádár I.-Turán T. (2002):* P-Zn kölcsönhatás mészlepedékes csernozjom talajon kukorica monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan.* 51:381-394.
- Kádár I. – Lásztity B. – Simon L. (1981):* Az üzemi talaj- és növényvizsgálati eredmények értelmezése és felhasználása mezőföldi csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* 30:65-78.
- Kádár, I. – Szemes, I. – Lásztity, B. (1984):* Az „évhatás“ és a tápláltság összefüggése őszi rozs tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 33:235-241.
- Lásztity B. – Csathó P. (1994):* Tartós NPK műtrágyázás hatásának vizsgálata búza-kukorica dikultúrában. *Növénytermelés.* 43:157-167.
- Mengel, K. – Kirkby, E. A. (1987):* Principles of plant nutrition. 4th Edition. International Potash Institute. Bern. Switzerland.
- Németh T. (1995):* Nitrogen in Hungarian Soils – nitrogen management relation to groundwater protection. *J. Contam. Hydrology.* 20:185-208.
- Németh T. (1996):* Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Paauw, F. van der. (1958):* Relations between the potash requirements of crops and meteorological conditions. *Plant and Soil.* 3:254-268.
- Russel, E. W. (1973):* Soil conditions and plant growth. Longman Group Ltd. London.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1984):* Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. I. NP műtrágyahatások az őszi búza kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 33:355-374.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1985):* Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. II. K-hatások az őszi búza kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 34:130-136.
- Sarkadi J. – Balla Ané (1990):* Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. III. Kukorica-kísérletek. *Agrokémia és Talajtan.* 39:103-110.

Borsó kísérlet eredményei 1971-2007 között

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A különböző adagú és arányú NPK műtrágyák hatásának vizsgálata céljából 1966-ban kezdődtek meg hazánkban az ún. egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK). Az eredetileg 26 termőhelyen azonos metodikával indított nagyszabású kísérletsorozat tervét az akkori Földművelésügyi Minisztérium által megbízott kollektíva dolgozta ki Láng Géza akadémikus vezetésével. A kísérleteket „terített” vetésforgóban évente fokozatosan állították be. Minden egyes kísérlet külön kódszámot kapott a beállítás évének és a forgónak megfelelően. Az országos kísérletsorozat főbb eredményeit átfogóan az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent „Trágyázási Kutatások 1960-1990” című monográfia mutatta be (Szerk.: *Debreczeni B. és Debreczeni Bné 1994*), valamint a *Blaskó et al. (1998)* szerkesztésében megjelent „Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszesedés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain” című tanulmánykötet foglalta össze. A mélyfúrások ill. a $\text{NO}_3\text{-N}$ mozgásával kapcsolatos eredményekről *Németh (1995, 1996)* számolt be.

Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete mezőföldi/nagyhőrcsöki kísérleti telepén elkezdett kísérleti munkáról, annak eredményeiről először *Sarkadi és munkatársai (1984, 1985)* tudósítottak. Később a kísérletek részeredményeiből több közlemény is napvilágot látott (*Csathó et al. 1989, Sarkadi és Balláné 1990, Csathó 1992, Lásztity és Csathó 1994, Kádár 1998*). Az 1968-2004. évek búza, valamint a búza utáni kukorica, ill. kukorica utáni kukorica termésének adatait korábban taglaltuk (*Kádár és Márton 2005, 2007a,b*).

Nagyhőrcsökön ugyanezen a termőhelyen 1990-ben vizsgáltuk a borsó trágyareakcióját és elemfelvételét egy NPK műtrágyázási tartamkísérletben. A viszonylag száraz évben $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ feletti N-adagnál az állomány kipusztult, elgyomosodott és egyaránt lecsökkent a szár, hüvely valamint a mag termése. Optimális ellátottságnak a $120\text{-}150 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ AL- P_2O_5 és a $180\text{-}200 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ körüli AL- K_2O ellátottság bizonyult a szántott rétegben. A szárazborsó magtermése $1,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt a kontroll és $2,7 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ az optimális NPK kezeléseknél. Az 1 t szem és a hozzátartozó melléktermés fajlagos elemtartalma tág határok között ingadozott a kezelésektől függően: 17-27 kg N, 14-18 kg CaO, 7-13 kg K_2O , 3-5 kg MgO és P_2O_5 (*Kádár et al. 2003, Kádár 2005*).

Egy másik szabadföldi tartamkísérletben elemeztük a talajszennyezés, ill. mikroelem-terhelés hatását is a borsó termésére, ásványi összetételére, elemfelvételére, minőségi jellemzőire úgymint a klorofill és karotinoidok mennyiségére, valamint a növény gyökérszimbiózisára. A 13 vizsgált mikroelemből az As, Cr, Se bizonyult fitotoxikusnak a borsóra. A nagyobb Se-terhelés már a borsó és a gyomok teljes pusztulásához vezetett. Szennyeztelen talajon $2,5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ légszáraz magtermést kaptunk 1994-ben, ebben a száraz évben. Már a mérsékelt szennyezés is gyakorlatilag megszüntette a gümőképződést a gyökereken. Megszűnt a légköri N-kötés, károsodott az endomikorrhiza szimbiózis. Részben hasonló hatású volt a nagyobb mérvű Cd-szennyezés is (*Kádár 2001, Kádár et al. 2001*).

Továbbiakban az 1967 őszen indult A-17 jelű tartamkísérlet 1971-2007. évek közötti borsó termékek adatait ismertetjük, melyek átfogó közlésére még nem kerülhetett sor.

Anyag és módszer

Az A-17 jelű kísérletet 1967 őszen állították be 20 kezeléssel x 4 ismétlésben, összesen 80 parcellával. A N és a P hatását 3-3, a K hatását 2-2 szinten vizsgáljuk az összes lehetséges $3 \times 3 \times 2 = 18$ kombinációban. Mindezt kiegészíti a kezeletlen kontroll és egy megemelt NPK-adag. A split-plot elrendezésen belül a K-kezelések a főparcellát, míg a N és P kombinációk az alparcellákat jelentik. A műtrágya adagok a 4. és a 21. év után változtak, a kor elvárásainak megfelelően megemelkedtek. Eltértek növényfajonként is. Amint az 1. táblázatban látható, a 4. évet követően mindhárom növényfaj azonos P-trágyázásban részesül. A borsó mérsékeltebb N-adagokkal, míg a kukorica a nagyobb K-adagokkal tűnik ki.

1. táblázat: Műtrágyaadagok az A-17. jelű OMTK kísérletben 1968-2007. között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörccsök, Mezőföld)

NPK szintek	1-4.	5-20.	21.	1-4.	5-20.	21.	1-4.	5-20.	21.
	év	év	évtől	év	év	évtől	Év	év	évtől
	búza alá adott			kukorica alá adott			borsó alá adott		
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N ₁	35	50	100	40	50	100	0	0	50
N ₂	70	100	150	80	100	150	20	32	75
N ₃	105	150	200	120	150	200	40	65	100
N ₄	140	200	250	160	200	250	40	97	125
P ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P ₁	35	50	60	35	50	60	40	50	60
P ₂	70	100	120	70	100	120	80	100	120
P ₃	105	150	180	105	150	180	120	150	180
K ₀	0	0	0	0	0	0	0	0	0
K ₁	70	100	100	100	100	200	80	100	100

Megjegyzés: Az adagok N, P₂O₅, K₂O kg/ha/év trágyázást jelentenek. Az 1970-ben termesztett tavaszi árpa a búzával azonos műtrágyázásban részesült.

Az A-17 jelű kísérlet pillangós forgót takar búza-kukorica-kukorica-borsó jelzőnövényekkel. 1970-ben tavaszi árpa, 1985-ben tavaszi repce került az egyik kukorica helyére. A 2. táblázatban feltüntettük a kísérlet évét, korát, a vetett növényfajt és fajtát. A növényfajták követik a köztermesztésben beálló változásokat, az alkalmazott agrotechnika szintén megfelel az üzemekben szokásosnak. Eltérést a parcellánkénti mérések jelentik a kísérleti jellegből adódóan, valamint a kézzel végzett parcellánkénti műtrágyázás. A P és K műtrágyákat, valamint a N adagjának felét összfel szántás előtt, a N másik felét fejtrágyaként szórjuk ki pétisó, szuperfoszfát és kálisó formájában. A kísérleti telep

átlagos középhőmérséklete 11 °C, a csapadék átlagos éves mennyisége 590 mm, szárazságra hajló, az Alföldhöz hasonló. A löszön képződött mészlepedékes talaj CaCO₃ tartalma 3 % körüli, humuszkészlete 2,5-3,0 %, agyagtartalma 20-22 % a szántott rétegben. A pH(KCl) 7,3, AL- P₂O₅ 60-80 mg kg⁻¹, AL-K₂O 180-200 mg kg⁻¹, KCl-oldható Mg 150-180 mg kg⁻¹. A KCl+EDTA oldható Mn 80-150, Cu 2-3, Zn 1-2 mg kg⁻¹. A szaktanácsadásban elfogadott irányelvek szerint ezek az adatok kielégítő K, Mg és Mn, közepes N és Cu, valamint gyenge P és Zn ellátottságot jelentenek (*Baranyai et al. 1987*).

2. táblázat: Az A-17. jelű OMTK kísérlet növényi sorrendje 1968-2007. között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kísérlet éve	Kísérlet kora	Növény faja	Növény Fajtája	Kísérlet éve	Kísérlet kora	Növény Faja	Növény Fajtája
1968	1	Őszi búza	Bezostája 1.	1988	21	Őszi búza	Mv 19
1969	2	Kukorica	Mv 602	1989	22	Kukorica	Pi 3901
1970	3	Tavaszi árpa	MFB 104	1990	23	Kukorica	Pannónia 3737
1971	4	Borsó	IP 3	1991	24	Borsó	IP 3
1972	5	Őszi búza	Bezostája 1.	1992	25	Őszi búza	Mv 21
1973	6	Kukorica	Mv Sc 580	1993	26	Kukorica	Stira
1974	7	Kukorica	Mv Sc 580	1994	27	Kukorica	Stira
1975	8	Borsó	IP 3	1995	28	Borsó	IP 3
1976	9	Őszi búza	Kavkaz	1996	29	Őszi búza	Mv 21
1977	10	Kukorica	Mv Sc 580	1997	30	Kukorica	Stira
1978	11	Kukorica	Mv Sc 580	1998	31	Kukorica	Stira
1979	12	Borsó	IP 3	1999	32	Borsó	Janus
1980	13	Őszi búza	GK 3	2000	33	Őszi búza	Mv-Magvas
1981	14	Kukorica	Sze Sc 444	2001	34	Kukorica	Juventus
1982	15	Kukorica	Sze Sc 444	2002	35	Kukorica	Juventus
1983	16	Borsó	IP 3	2003	36	Borsó	Janus
1984	17	Őszi búza	Mv 4	2004	37	Őszi búza	Mv-Magvas
1985	18	Tav. repce	Wester	2005	38	Kukorica	(PR38A24)
1986	19	Kukorica	Pi 3732	2006	39	Kukorica	(PR38A24)
1987	20	Borsó	IP 3	2007	40	Borsó	(JANUS)

Talajmintavételre 1980., 1984., 1988., 1997., 2004. években került sor. Parcellánként 20-20 pontból botfúróval vettünk átlagmintákat a 0-20 cm feltalajból. Mintákban meghatároztuk az AL-oldható P és K tartalmakat *Egnér et al. (1960)* módszerével, hogy nyomon kövessük a parcellák oldható P és K elemkészleteiben beálló változásokat. Összefüggést kívántunk keresni ezen túlmenően a borsó szemtermése és a talajvizsgálati adatok között, hogy a műtrágyázást irányító talajvizsgálati határértékeket/optimumokat a szaktanácsadás számára kidolgozzuk.

Kísérleti eredmények

A kísérleti helyen mérjük a csapadékot. A 3. táblázatban az 1968-2007. években lehullott éves, valamint a tenyészidő alatti mennyiségeket tüntettük fel. A legközelebbi meteorológiai állomáson mért 50 éves átlag 590 mm év⁻¹, a tenyészidő alatti III.-IX. havi összeg pedig 210 mm. A bemutatott adatok szerint a sokéves átlagot legalább 50 mm-rel meghaladó kedvező évek mindössze 6 minősül: 1969., 1974., 1975., 1998., 1999. és 2005. Viszont 22 éven át elmarad az éves csapadék összege legalább 50 mm-rel a sokéves átlagtól. Extrém száraz évek tekinthető 1968., 1994., 1997. és 2000, amikor az éves csapadék több mint 200 mm-rel maradt el a sokéves átlagtól. Csapadékban legszegényebb évünk 1997 volt 319 mm, leggazdagabb az 1999. év 830 mm esővel. Ugyanezen években a tenyészidő III.-VI. hónapjai alatt 133, ill. 373 mm volt a mért csapadék, tehát az eltérés közel 3-szorosnak adódott. Amennyiben a 2003. év tenyészidő (III.-VI. hónap) csapadékát is tekintetbe vesszük, a minimális és a maximális értékek közötti különbség már ötszörös.

3. táblázat: A csapadék megoszlása évenként és a tenyészidő alatt (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Időszak, évek	Éves összeg	Tenyészidő alatt III.-VI. hó	Időszak, évek	Éves Összeg	Tenyészidő alatt III.-VI. hó
1968	358	77	1988	518	165
1969	681	252	1989	468	220
1970	584	221	1990	498	212
1971	407	196	1991	522	121
1972	619	217	1992	471	209
1973	483	174	1993	487	61
1974	755	217	1994	370	116
1975	681	257	1995	483	197
1976	576	154	1996	407	118
1977	522	177	1997	319	133
1978	543	272	1998	682	248
1979	535	124	1999	830	373
1980	603	180	2000	384	115
1981	516	187	2001	622	174
1982	496	181	2002	476	142
1983	421	174	2003	425	76
1984	619	178	2004	607	291
1985	562	224	2005	649	135
1986	440	223	2006	475	177
1987	603	266	2007	-	165

Megjegyzés: A legközelebbi állomáson Sárbogárdon mért 50 éves átlag 590 mm, a tenyészidő alatti III.-VI. havi összeg 210 mm.

Borsót 1968 és 2007 között a vizsgált 40 év alatt 10 esetben vetettünk. Először 1971-ben tavaszi árpa után, majd ezt követően 9 esetben kukorica után. Amint a 4. táblázatban látható, 1971 és 1983 között a N-hatások elhanyagolhatóak voltak. Az első borsó évben 1971-ben 0,2 t ha⁻¹ körüli termésnövekedést regisztráltunk az N₃, ill. N₄ szinteken, 1975. és 1983. években nem volt igazolható hatás, míg 1979-ben 0,1-0,2 t ha⁻¹ termésnövekedést mértünk. Nincs érdemi P-hatás sem az első borsó évben 1971-ben, 1975-ben viszont 0,7-1,0 t ha⁻¹, 1979-ben 0,2 t ha⁻¹, 1983-ban 0,4-1,0 t ha⁻¹ az átlagos termésnövekedés a N-kezelések átlagában. A nagyobb termésnövekedéseket rendre az NK-kezelések átlagában kaptuk.

4. táblázat: Az A-17 jelű OMTK kísérlet borsó légszáraz szemtermése 1971-1983. között, t ha⁻¹ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörösök, Mezőföld)

N	P	1971		1975		1979		1983	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	1,59	-	2,40	-	0,65	-	1,56	-
1	0	1,68	1,80	2,54	2,46	0,71	0,71	1,72	1,82
1	1	1,56	1,73	3,10	3,40	0,83	0,93	2,13	2,92
1	2	1,44	1,92	3,09	3,46	0,88	0,96	2,04	2,67
2	0	1,54	1,75	2,46	2,53	0,81	0,83	1,73	2,08
2	1	1,58	1,71	3,01	3,48	0,92	1,00	2,05	2,79
2	2	1,53	1,54	3,14	3,38	0,98	1,05	2,10	2,80
3	0	1,55	1,62	2,33	2,59	0,77	0,96	1,72	1,87
3	1	1,28	1,64	3,21	3,40	0,99	1,06	2,08	2,93
3	2	1,26	1,62	3,09	3,61	1,00	1,14	2,11	2,67
4	3	-	1,38	-	3,49	-	1,11	-	2,62
N-hatás (P átlagában)									
1		1,56	1,81	2,91	3,10	0,80	0,87	1,97	2,47
2		1,55	1,66	2,87	3,13	0,90	0,96	1,96	2,56
3		1,36	1,63	2,88	3,20	0,92	1,05	1,97	2,49
P-hatás (N átlagában)									
0		1,59	1,72	2,44	2,53	0,76	0,83	1,72	1,92
1		1,48	1,69	3,10	3,42	0,91	1,00	2,09	2,88
2		1,41	1,69	3,10	3,48	0,95	1,05	2,09	2,71
NP átlag		1,49	1,70	2,88	3,14	0,87	0,96	1,96	2,50
*Szd _{5%}		0,25		0,20		0,11		0,31	
**Szd _{5%}		0,15		0,11		0,06		0,18	

* SzD_{5%} NxP kezelésekre; ** SzD_{5%} N és P átlagokra

A K-hatások általában minden évben igazolhatók voltak statisztikailag: 1971-ben 0,2 t ha⁻¹, 1975-ben 0,3 t ha⁻¹, 1979-ben 0,1 t ha⁻¹, 1983-ban 0,5 t ha⁻¹ az NP-kezelések átlagában. A csapadékos legjobb borsó évben 1975-ben 2,4 t ha⁻¹-ről a magtermés 3,6 t ha⁻¹-ra nőtt az N₃P₂K kezelésben. A leggyengébb aszályos évben 1979-ben a kontrollon mért 0,6 t ha⁻¹ szemtermés ugyanebben a kezelésben 1,1 t ha⁻¹-ra emelkedett. Az N₄P₃K maximális P-kezelések termése viszont tendenciájában

általában már mérséklődik. Összességében megállapítható, hogy az NPK-trágyázás az első borsó évtől eltekintve jelentősen, 50-70%-al képes volt növelni a borsó szemtermését. Meghatározónak a PK-hatások bizonyultak (4. táblázat).

A következő 4 borsóév szemterméseit az 5. táblázatban tanulmányozhatjuk. A kedvező csapadék-eloszlású 1987-ben a kontroll talajon is 2,4 t ha⁻¹ mag termett, míg az együttes NPK-trágyázás nyomán a termés 3,8 t ha⁻¹-ra emelkedett. A N és K 0,3-0,3 t ha⁻¹ körüli, a P 0,8 t ha⁻¹ átlagos terméstöbbletet adott. A P-hatások a további években is 0,5-0,7 t ha⁻¹ tartományban ingadoztak. A szárazabb 1991 évben a N-hatások elmaradtak, viszont a P₁-szinten 0,6-0,7 t ha⁻¹ a termésnövekedés. Az erősen csapadékos 1999-ben a trágyázatlan kontroll termése 0,7-0,8 t/ha⁻¹ körüli értékre zuhant, majd az együttes NPK-trágyázással 2,5-szorosára nőtt 2 t ha⁻¹ mennyiséget elérve. Mindhárom tápelem hatékonynak bizonyult és pozitív kölcsönhatást mutatott.

5. táblázat: Az A-17 jelű OMTK kísérlet borsó légszáraz szemtermése 1987-1999. között, t ha⁻¹ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörsök, Mezőföld)

N	P	1987		1991		1995		1999	
Szintek		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	2,38	-	1,48	-	1,22	-	0,75	-
1	0	2,42	2,33	1,86	1,79	1,72	2,20	0,79	0,96
1	1	2,79	3,23	2,22	2,56	2,09	3,03	1,21	1,53
1	2	2,89	3,39	2,38	2,54	1,90	2,82	1,00	1,47
2	0	2,32	2,51	1,69	1,95	1,80	2,54	0,73	1,23
2	1	2,96	3,53	2,54	2,96	2,45	2,93	1,23	1,78
2	2	3,02	3,46	2,34	2,60	2,16	2,77	1,29	1,66
3	0	2,30	2,80	1,58	2,06	1,80	2,79	0,79	1,53
3	1	3,20	3,53	2,36	2,45	2,62	3,02	1,49	1,92
3	2	3,30	3,39	2,38	2,52	2,29	2,90	1,49	1,87
4*	3	-	3,80	-	2,39	-	2,72	-	1,99
N-hatás (P átlagában)									
1		2,70	2,98	2,15	2,30	1,90	2,68	1,00	1,32
2		2,77	3,16	2,19	2,50	2,14	2,74	1,08	1,56
3		2,93	3,24	2,11	2,34	2,24	2,90	1,26	1,77
P-hatás (N átlagában)									
0		2,35	2,54	1,71	1,93	1,78	2,51	0,77	1,24
1		2,99	3,43	2,37	2,65	2,39	2,99	1,31	1,74
2		3,07	3,41	2,37	2,55	2,12	2,83	1,26	1,66
NP átlag		2,80	3,13	2,15	2,38	2,09	2,78	1,11	1,55
*SzD _{5%}		0,40		0,28		0,31		0,36	
**SzD _{5%}		0,23		0,16		0,18		0,21	

* SzD_{5%} NxP kezelésekre; **SzD_{5%} N és P átlagokra

Az 5. táblázat adatai arra is utalnak, hogy a nedvesebb 1987. és 1999. években a maximális termések az N₄P₃K maximális trágyaadagokhoz kötődnek. A szárazabb 1991. és 1995. években viszont a mérsékelt N₂P₁K szintekhez. Száraz években a műtrágyaigény csökken, mert a trágyahatásokat a vízhiány limitálja. A

kiegyensúlyozott táplálás ugyanakkor javítja a vízhasznosulást és ezzel mérsékli az évek közötti termésingadozást, az aszály hatását. A kontroll parcellák termése között pl. több mint 3-szoros a különbség 1987 és 1999 között. A megfelelő NPK-kezelésekben, a maximális termések között ugyanezen években nem egészen 2-szeres.

A 6. táblázat szemlélteti az első 4 éves és a második 4 éves átlagokat, valamint a 2003. és 2007. évi eredményeket. Az első 4 év átlagában a maximális termést már elértük az N, P, K kezelésben, a terméstöbblet $0,7 \text{ t ha}^{-1}$. A második 4 év átlagában a legnagyobb termés az $\text{N}_1\text{P}_1\text{K}$ kezeléshez kötődik, a terméstöbblet a kontrollhoz viszonyítva $1,4 \text{ t ha}^{-1}$. Az igen aszályos 2003-ban a kontroll termése $0,5 \text{ t ha}^{-1}$ -ra zuhant, a termésmaximum az $\text{N}_3\text{P}_1\text{K}$ kezelésben található, a terméstöbblet $1,4 \text{ t ha}^{-1}$. Végül az ugyancsak száraz 2007-ben $0,7 \text{ t ha}^{-1}$ kontroll termése az $\text{N}_1\text{P}_1\text{K}$ kezelésben már eléri maximumát, a terméstöbblet $1,2 \text{ t ha}^{-1}$.

6. táblázat: Az A-17 jelű OMTK kísérlet borsó légszáraz szemtermések 4-4 éves átlagai és a 2003. és 2007. évi termése, t ha^{-1} (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N	P	1971-1983		1987-1999		2003		2007	
		K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁	K ₀	K ₁
0	0	1,55	-	1,46	-	0,50	-	0,69	-
1	0	1,66	1,70	1,70	1,82	0,70	1,00	1,31	1,45
1	1	1,91	2,25	2,08	2,59	0,90	1,30	1,28	1,91
1	2	1,86	2,25	2,04	2,56	1,00	1,40	1,30	1,37
2	0	1,64	1,80	1,64	2,06	0,70	0,90	1,30	1,58
2	1	1,89	2,25	2,30	2,80	0,80	1,40	1,50	1,79
2	2	1,94	2,19	2,20	2,62	1,20	1,70	1,25	1,58
3	0	1,59	1,76	1,62	2,30	0,90	1,40	1,15	1,65
3	1	1,89	2,26	2,42	2,73	1,30	1,90	1,49	1,92
3	2	1,87	2,26	2,37	2,67	1,20	1,70	1,40	1,59
4*	3	-	2,15	-	2,73	-	1,50	-	1,68
N-hatás (P átlagában)									
1		1,81	2,06	1,94	2,32	0,90	1,20	1,30	1,58
2		1,82	2,08	2,05	2,49	0,90	1,30	1,35	1,65
3		1,78	2,09	2,14	2,56	1,10	1,70	1,35	1,72
P-hatás (N átlagában)									
0		1,63	1,75	1,65	2,06	0,80	1,10	1,25	1,56
1		1,90	2,25	2,27	2,70	1,00	1,50	1,43	1,87
2		1,89	2,23	2,21	2,61	1,10	1,60	1,32	1,51
NP átlag		1,80	2,08	2,04	2,46	1,00	1,40	1,33	1,65
*Szd _{5%}		0,22		0,34		0,40		0,34	
**Szd _{5%}		0,13		0,20		0,20		0,14	

* SzD_{5%} NxP kezelésekre; **Szd_{5%} N és P átlagokra

Márton (2002a,b, 2004, 2005) behatóan vizsgálta műtrágyázási tartamkísérletekben a csapadék-ellátottság és a trágyahatások közötti összefüggéseket a búza, rozs, kukorica,

tritikále és a borsó növényeknél. Azt találta, hogy a maximális termések a közepesen csapadékos évjáratokhoz köthetők. Mind a túl száraz, mind a túl nedves években termésveszteség lép fel. Relatívén igen nagy terméscsökkenés léphet fel a kontroll talajon, míg a kiegyensúlyozottan táplált kezelések mérséklék az aszály vagy a csapadékbőség negatív hatását.

Amint ismeretes, a kiegyensúlyozottan táplált növények jobban ellenállnak a külső tényezők által kiváltott stressz helyzeteknek, mint az aszály, betegségek vagy a hiányos borítottság miatt fellépő gyomosodás. Az esős időjárás főként a fuzárium és a peranoszpóra fellépésének kedvezhet pl. a borsó esetében, míg a túl száraz években a borsó lisztharmat és a borsó rozsdakártétele nőhet *Ubrizsy (1968)* szerint.

Láthatóan a trágyahatások nőnek az idő előrehaladtával, ill. a trágyázatlan kontroll parcellák termése csökkenő és egyre kifejezettebb évjáráthatásokat jeleznek. Az egyes éveket tekintve eltérőek az egyes elemek hatásai, meghatározóak inkább a kölcsönhatások, az együttes és mérsékelt NPK-trágyázás. Kiegyensúlyozott NPK-ellátás híján elveszíthetnénk a termés 1/3-át (1971-1983), felét (1987-1999), 2/3-át (2007), esetleg közel ¾-ét (2003) a 6. táblázatban bemutatott adatok szerint.

Ugyanakkor az is megállapítható, hogy a borsó az adott viszonyok között mérsékelt $40-100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ közötti N-adagokat, a P_1 szintnek megfelelő $40-60 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ P_2O_5 adagokat igényelt és meghálálta a $80-100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ K_2O trágyázást. Az e feletti NP-adagok terméscsökkenéshez vezettek. A trágyahatások azonban időfüggőek, az évek előrehaladtával változnak. Változik ugyanis maga a talaj a kezelések nyomán. Bizonyos elemekben elszegényedik, másokban viszont dúsulhat. Megváltozhat az elemek minimum sorrendje. A talajtermékenység megőrzése és növelése céljából a tápelemek kiegyensúlyozott arányát kell biztosítanunk. Mindez igényli a talaj tápanyagtökéjének ismeretét. Nem állíthatjuk pl., hogy a mezőföldi csernozjomokon a borsó legfontosabb trágyája a N, vagy P, esetleg a K.

Saját kísérletünk adatai szerint is a mérsékelt száraz években fellépő vízhiányt az erőteljesebb PK-trágyázás egy szintig ellensúlyozni képes a növény vízhasznosítását javítva még a Duna-Tisza közti homoktalajokon is, mérsékelve az igen kifejezett évhatásokat (*Kádár et al. 1984*). Országosan ez a helyzet dominált az 1970-es, 1980-as években. A már kifejezetten aszályos években viszont a műtrágya „terméscsökkentő” tényezővé válhat, amennyiben első minimumba kerül a talaj vízhiánya. Gyakran a vegetációs periódus első felében a trágyázott parcellákon nagyobb zöldtömeg képződik elhasználva a limitált vízkészletet, a szemképződés így itt szorulhat vissza a legjobban (*Bocz 1995, Kádár 2007*).

A szántott réteg AL oldható PK-tartalmáról tájékozódhatunk a 7. táblázatban összefoglalt eredmények alapján. Az adatokból látható, hogy az emelkedő P-trágyázási szintek és az évek kumulatív hatása nyomán a szántott réteg AL-oldható P_2O_5 készlete nagyságrendi változást szenvedett az extrém hiányos és az extrém túlsúlyos parcellákat összehasonlítva. Ami az AL- K_2O készletet illeti, tendenciájában nyomon követhető a feltalaj elszegényedése a K-ot nem kapott kontroll talajon. Mivel a K-ban gazdag melléktermés is elkerül a tábláról/kísérletből, becsléseink szerint forgónként átlagosan mintegy $400-500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K_2O elvonás történhetett. Az évente adott mérsékelt K-adagok jobbra a

kivont K mennyiségét ellensúlyozhatják, fenntartva vagy enyhén növelve a szántott réteg K-készletét.

7. táblázat: Műtrágyázás hatása a szántott réteg AL-oldható PK-tartalmára az A-17 jelű OMTK kísérletben (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhorcsók, Mezőföld)

P Szintek	Ammóniumlaktát (AL)-oldható P ₂ O ₅ , mg kg ⁻¹				
	1980	1984	1988	1997	2004
0	67	64	57	48	59
1	110	98	99	143	168
2	167	178	192	372	386
3	184	237	265	586	643
SzD _{5%}	15	20	10	22	21
Átlag	132	144	153	187	214

K Szintek	Ammóniumlaktát (AL)-oldható K ₂ O, mg kg ⁻¹				
	1980	1984	1988	1997	2004
0	186	176	130	115	132
1	212	248	227	266	270
SzD _{5%}	7	7	12	9	14
Átlag	199	212	178	190	201

Megjegyzés: N és P műtrágyaadagokat lásd az 1. táblázatban. Az AL- P₂O₅ tartalmak az NK, AL-K₂O tartalmak az NP kezelések átlagában

A korábban említett növekvő K-hatások minden bizonnyal összefüggnek a talaj oldható K-készletének csökkenésével. Az eredetileg K-mal kielégítően ellátott talaj a gyenge ellátottsági kategóriába került. A K-hatásokat tekintve megállapítható, hogy ezen a karbonátos vályog talajon kívánatos a szántott réteg AL-K₂O készletét a 200 mg kg⁻¹ körüli tartományban tartani a stabil és kielégítő borsótermések elérése céljából. Ez a „kielégítő” K-ellátottsági szint a K-mérleg egyenlegét biztosító K-trágyázással tartható fenn.

Az optimális AL-P₂O₅ tartalom a 150 mg kg⁻¹ érték körül található. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésvesztést jelenthet. A P-túlsúllyal nőhet az indukált Zn-hiány, a termésnövekedés az idővel egyre kifejezettebbé válhat, ill. termésdepresszió évenként emelkedő mértékben jelentkezhet. Mindez abból is adódhat, hogy a P és a Zn talajbani oldhatósága ill. felvehetősége eltérő lehet. A környéken gazdálkodó üzemek figyelmét a P-túltrágyázás veszélyeire már korábban felhívtuk. A volt Mezőfalvai Mezőgazdasági Kombinát trágyázási gyakorlatának áttekintése után kiderült, hogy a táblák egy részének P-ellátottsága nemkívánatos mértékben megemelkedett. A helyszíni talaj- és növényvizsgálatok, valamint az üzemi tápelemmérlegek adatai alapján javasoltuk a P-műtrágyák használatának mintegy 50%-os mérséklését és

egyidejűleg a Zn-érzékeny borsó és kukorica Zn-trágyázását, ill. az őszi búza Cu-trágyázását (Kádár *et al.* 1981).

Összefoglalás

Az OMTK A-17 jelű NPK műtrágyázási kísérletet 1967 őszen állítottuk be 20 kezeléssel és 4 ismétléssel, összesen 80 parcellával búza-kukorica-kukorica-borsó forgóban. Jelen munkánkban az 1971-2007. között, tehát a kísérlet 40 éve alatt kapott 10 borsóév eredményeit ismertetjük. A termőhely löszön képződött mészlepedékes csernozjom talaja a szántott rétegben 3 % körüli CaCO_3 -ot, 2,5-3,0 % humuszt és 20-22 % agyagot tartalmaz, N-nel és K-mal eredetileg kielégítően, P-ral és Zn-vel gyengén ellátott. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékenynek minősül 550-600 mm átlagos éves csapadékösszeggel. Műtrágyaként pétisót, szuperfoszfátot és kálisót alkalmaztunk. Levonható főbb következtetések:

- A kontroll parcellák szemtermése csökkent az idő előrehaladtával és egyidejűleg extrém nagy évhathások léptek fel. A $40\text{-}100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ N, $40\text{-}60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ P_2O_5 és a $80\text{-}100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ K_2O mérsékelt trágyázás drasztikusan tompította az évenkénti termésingadozást és a maximális terméseket adta. Trágyázás nélkül elveszíthettük volna a szemtermés 1/3-át (1971-1983), felét (1987-1999), 2/3-át (2007), esetleg 3/4-ét (2003).

- Az elégtelen és a túlzott NP-trágyázás egyaránt termésveszteséget jelenthet. A P-túlsúly nyomán kifejezettebbé válhat az indukált Zn-hiány ezen a talajon és a Zn-igényes kultúrákban mint a kukorica és a borsó egyre jelentősebb depressziót okozva korlátozhatja a talaj termékenységét.

- A trágyahatások időfüggők, mert változik a talaj összetétele, elemkínálata. Az induláskori $180\text{-}200 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL- K_2O tartalom a 4 évtized alatt $120\text{-}130 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre, a $80 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ AL- P_2O_5 készlet $50\text{-}60 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre süllyedt, mellyel az emelkedő PK-hatások összefüggtek. Közelítően a forgó növényi felvételét tükröző $50\text{-}60 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ P_2O_5 , ill. $100\text{-}150 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ K_2O adagokkal a szántott réteg oldható AL-PK készlete fenntartható. A felvételt 2-3-szorosan meghaladó P-trágyázás nyomán a feltalaj AL- P_2O_5 tartalma nagyságrenddel dúsult.

Kulcsszavak: műtrágyázás, borsó, tartamkísérlet, talajvizsgálat, csapadékkellátottság

Irodalom

- Baranyai F.-Fekete A-Kovács I. (1987): A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Blaskó L. – Debreczeni Bné – Holló S. – Kadlicskó B. – Sárvári M. (Szerk.: 1998.): Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Bocz E. (1995): Vízellátottsági és öntözési jelzés. XXIV. évf. November havi zárójelentés. DATE Növénytermesztéstani Tanszék. Debrecen.
- Csathó P. (1992): K- és P-hatások kukoricában meszes csernozjom talajon. Agrokémia és Talajtan. 41:241-260.

- Csathó P. – Kádár I. – Sarkadi J. (1989): A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 38:69-76.
- Debreczeni B. – Debreczeni Bné (1994): Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Egnér, H. – Riehm, H. – Domingo, W.R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K. *Lantbr. Högsk. Ann.* 26:199-215.
- Kádár I. (1998): Műtrágyázás hatása a talaj termékenységre meszlepedékes csernozjom talajon. Nagyhorcsök. In: Műtrágyázás, talajsavanyodás és meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. 55-68. Szerk.: Blaskó et al. OMTK kiadvány. Regiocon Kft. Kompolt-Karcag.
- Kádár I. (2001): Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. I. Termés és ásványi összetétel. *Agrokémia és Talajtan*. 50:63-82.
- Kádár I. (2005): A műtrágyázás hatása a borsó (*Pisum sativum* L.) elemfelvételére. *Agrokémia és Talajtan*. 54:77-92.
- Kádár I. (2007): Soil water supply and response to fertilizers. In: 42nd Croatian and 2nd Internat. Symposium on Agric. Proc. 416-419. Ed.: Pospisil, M. Univ. of Zagreb, Croatia.
- Kádár I. – Márton L. (2005): Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben 1968-2004. között. *Növénytermelés*. 54:111-122.
- Kádár I.-Márton L. (2007a): Búza utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1969-2005 között. *Növénytermelés*. 56:147-159.
- Kádár I.-Márton L. (2007b): Kukorica utáni kukorica trágyareakciója a mezőföldi OMTK kísérletben 1970-2006. között. *Növénytermelés*. 56: 307-319.
- Kádár I. – Lásztity B. – Simon L. (1981): Az üzemi talaj- és növényvizsgálati eredmények értelmezése és felhasználása mezőföldi csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan*. 30:65-78.
- Kádár, I. – Szemes, I. – Lásztity, B. (1984): Az „évhatás“ és a tápláltság összefüggése őszi rozs tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 33:235-241.
- Kádár I. – Kövesné P. K. – Vörös J. – Bíró B. (2001): Mikroelem-terhelés hatása a borsóra karbonátos csernozjom talajon. II. Elemfelvétel, minőség és gyökérszimbiózis. *Agrokémia és Talajtan*. 50:83-101.
- Kádár I. – Fekete S. – Radics L. (2003): Műtrágyázás hatása a borsó (*Pisum sativum* L.) termésére és minőségére. *Növénytermelés*. 52:229-242.
- Láng G. (1976): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 408 p.
- Lásztity B. – Csathó P. (1994): Tartós NPK műtrágyázás hatásának vizsgálata búza-kukorica dikultúrában. *Növénytermelés*. 43:157-167.
- Márton L. (2002a): A csapadék-, a tápanyagellátás és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termése közötti kapcsolat. *Növénytermelés*. 51:529-542.
- Márton L. (2002b): A csapadék- és a tápanyag-ellátottság hatásának vizsgálata a triticale termésére tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 51:687-701.
- Márton L. (2004): A csapadék és a tápanyag-ellátottság hatása a borsó (*Pisum sativum* L.) termésére. *Növénytermelés*. 53:583-598.
- Márton L. (2005): A műtrágyázás és a csapadék változékonyságának hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Agrokémia és Talajtan*. 54:309-324.

- Németh T. (1995): Nitrogen in Hungarian Soils – nitrogen management relation to groundwater protection. *J. Contam. Hydrology*. 20:185-208.
- Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1984): Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. I. NP műtrágyahatások az őszebúza kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 33:355-374.
- Sarkadi J. – Balla Ané – Miklayné T. E. (1985): Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. II. K-hatások az őszebúza kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 34:130-136.
- Sarkadi J. – Balla Ané (1990): Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mészlepedékes csernozjom talajon. III. Kukorica-kísérletek. *Agrokémia és Talajtan*. 39:103-110.
- Ubrizsy G. (Szerk.: 1968): Növényvédelmi enciklopédia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest

A dohány ásványi táplálása

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Mióta Kolombusz 1492-ben megtalálta a dohányt Közép-Amerikában, az egész világon elterjedt. Értékes, belterjes, munkaigényes kultúrává vált, melyet ma mintegy 4 millió ha-on termelnek. Ez a szántó 0,06%-át jelenti. Jelentősége azonban szinte nagyságrenddel nagyobb területi részarányánál termelési értéke miatt. Hazánkban az 1980-as években a szántó 0,2%-át foglalta el évi 10 ezer ha körüli területtel. Jelentősége azóta némileg visszaszorult.

A *Nicotiana* nemzetségnek két faja jelentős gazdaságilag. A kizárólag ipari célokra termelt Kapadodohány (*N. rustica* L.) és az élvezeti célra termelt dohány (*N. tabacum* L.). A továbbiakban a *N. tabacum* fajjal foglalkozunk, melyet szintén sokféleség jellemez. Osztályozzák a felhasználás és a szárítás módja szerint (*Chouteau és Fauconnier 1988*):

- Virginia típusú mesterséges szárítású (flue-cured) cigaretta és pipadohány
- Kentucky típusú füstöléssel száradó cigaretta, pipa és rágódohány
- Keleti típusú napon száradó cigaretta és pipadohány

Szmirnov (1960) a volt Szovjetunió dohánytermesztését taglalva arra utal, hogy e növényt a nedves és száraz szubtrópusi régióktól az északi podzol övezetig termesztik. Az átlagosan 1,5 t/ha légszáraz levéltermés és a hozzátartozó földfeletti vegetatív tömeggel 90 kg N, 24 kg P₂O₅, 58 kg K₂O és 102 kg CaO elemkészlettel rendelkezhet. Plasztikus növény az összetételét tekintve. Levélben a hamu 9-17%, a nikotin 1-5%, N 2-3% között ingadozik. Jelentős a termőhelyi hatás. Így pl. délről észak felé haladva Jalta-Krasznodár-Novoszibirszk államokon a Djubek fajta jellemzői az alábbiak szerint módosultak: hamu 17-18-19%, összes szénhidrát 18-9-5%, N 2,2-3,0-3,7%, nikotin 1,1-2,9-3,8%, illóolaj 1,4-0,1-0,2%.

A trópusi származású dohány hőigényére jellemző, hogy jó minőséget ott és azokban az években ad hazánkban is, ahol és amikor a tenyészidő kritikus időszakában (június, július, augusztus hónapokban) a középhőmérséklet a 20 °C-ot meghaladja. A vízigénye is kifejezett és a hőigénnyel együtt jelentkezik virágzásig. Ez a 40-50 cm magasság és a virágzás közötti intenzív megnyúlás szakasza, amikor a növény gyökérrendszerét is fejleszti és a szárazanyag felhalmozódása kifejezett. A virágzást követően a növények jobban elviselik a szárazságot. Az aszályos június és július azonban nemcsak kicsi termést, de rossz minőséget is eredményez. Nő a levelek nikotin és nyersfehérje tartalma, a cukrok mennyisége pedig csökken. Nedvesebb években ezzel szemben a N jobban kimosódik a gyökérszónából, valamint a képződött nagyobb zöld tömegben a N% mérséklődik (*Gondola 1994, Móger és Szűcs 1966*).

Finck (1982) hangsúlyozza, hogy a dohány kiültetve rövid 2-5 hónap aktív tenyészidőt igényel, így a klímaövezetek nagy részén megteremhet. A száraz levéltermés 0,5-3,0 t/ha között ingadozhat 1-4% nikotintartalommal. Az 1 t száraz levélben 40-50 kg N, 4-7 kg P, 40-70 kg K, 70 kg Ca található átlagosan Virginia. A cigaretta fajtáknál kielégítő lehet a 2-3% K, 1-2% N, 0,5% körüli vagy feletti Mg és a 20 mg/kg B tartalom, melyek kis tápanyagigényűek.

A Virginia fajtákat Magyarországon az 1930-as évek óta termesztik. A száraz levéltermés 1-2 t/ha, ami elmarad a kedvezőbb ökológiai adottsággal rendelkező országoktól. A palántázás májusban történik, a virágzás 60-70 nap múlva augusztus elejéig kiteljesedik és ezzel az aljlevelek technikai érése is bekövetkezik. A virágzat

eltávolítása (tetejézés vagy bugázás) idején kerülhet sor az aljlevelek törésére, majd 7-10 naponként, 4-5 menetben a további levélszintek eltávolítására. A betakarítás így szeptember végéig elhúzódik, mert mindig csak az érett leveleket törik le, válogatottan. Az egyéves dohány 6-8 hetet palántaágyban tölt, így a teljes tenyészidő hossza hazánkban 6-7 hónapot is elérheti, melyből 4-5 hónap a szabadföldi időszak (*Gondola 1988*). A szerző vizsgálatai szerint (*Gondola 1990*) 1 t légszáraz levél és a hozzátartozó szár+gyökér fajlagos elemtartalmára 1:1:0,5 tömegarányban az alábbiak adódhat: 36 kg N, 6-7 kg P₂O₅ (3 kg P) és 57 kg K₂O (48 kg K).

Borsos (1976) szerint a Virginia fajták a 20-30% leiszapolható részt meg nem haladó, 28-37 kötöttségű (K_A), 5-7 pH (KCl) értékkel jellemzett talajokon díszlenek megfelelően. A kifejezetten lúgos vagy erősen savanyú talaj nem alkalmas dohánytermesztésre. Hasonlóképpen a sós, szikes-szódás talajok sem. Meszeztést ott javasolnak ahol a hidrolitikus aciditás 4 fölé emelkedik. A fent említett homokos és homokos-vályog talajokon vékony levelű finom cigaretta dohány terem.

A dohány igazi hazája a Nyírség, mely az ottani homoki területek legértékesebb szántóföldi növénye. Kézimunka szükséglete nagy, ezért döntően kisüzemi jelleggel termesztik. Szinte az egész évben elfoglaltságot ad. Kora tavasszal kezdődik a palántanevelés, majd ezt követi a kiültetés, a többszöri kapálás, nyáron a tetejézés/kacsozás, az ősze áthúzódó többszöri törés, a levelek szárítása, télen a válogatás, csomózás. Művelése speciális ismereteket igényel, termesztésével nagyüzemekben állandó brigádok foglalkoztak. A dohánytermő terület 2/3-a a Nyírségben található és itt terem a Virginia dohányok zöme. A levél általában 2-3% N-t tartalmaz, füstjének kémhatása savas. A nikotin 1-2% körüli a kívánalmaknak megfelelően, a redukáló cukor pedig kedvezően nagy 12% feletti értékkel.

A dohány termesztése nemcsak megélhetést biztosított a lakosság egy részének az ország egyik legszegényebb vidékén, de kultúrát is teremtett. Történetileg szemlélve hatással volt az egész mezőgazdaság belterjessé tételében. Elővetemény értéke kiváló, hiszen gondos ápolást és trágyázást igényel a talaj kultúr-állapotát és termékenységét növelve. A dohány illetően sokoldalú pozitív hatását a gazdálkodásra már a klasszikus irodalom is kiemeli (*Ditz 1867, Cserhúti 1900*).

Ditz (1867) a XIX. század II. felének hazai viszonyait áttekintve az alábbiakra utal: „A magyar dohány általában közönséges, gyenge minőségű. Ennek oka kevésbé a klíma, mint inkább a gondos kezelés hiánya. Amennyiben a finomabb dohánnyt előnyben részesítő képzett kereskedő az árat a minőség szerint emeli, a termelő magától is hajlandóságot mutat a dohány jobb kezelésére, ill. a fajtaváltásra... A dohányról jogosan mondják, hogy az alkotmány után legfontosabb a magyarnak. A dohány-monopólium 1851-es bevezetése óta azonban csak a kincstár jóváhagyásával lehet termesztetni. A kincstár a termés egyetlen felvásárlója és egyoldalúan határozza meg az árat.” Mivel a birodalmon túli értékesítés terhes ügyletet jelentett a kincstárnak, ezért korlátozta a belföldi fogyasztást meghaladó termelést.

Napjainkra tudatosult a minőség fontossága, ismereteink kibővültek a minőséget befolyásoló tényezők tekintetében. Így pl. figyelembe vesszük, hogy a minőséget javító szénhidrátok felhalmozása a virágzás kezdetén válhat intenzívvé, amikor a homokos talaj N-kínálata a növényi felvétel és a kilúgzás nyomán lecsökken. Aszályos nyáron mindez nem következik be, ezért a hazánkban öntözés nélkül a minőség az évszázatok függvényében véletlenszerűen alakul. A dohánytermő talajok PK-kínálata általában

kielégítő, sőt a Virginia fajták mérsékelt N-igényét az 1-2% humuszt tartalmazó humuszos-homok, ill. homokos-vályog talajok trágyázás nélkül is kielégíthetik. *Gondola (1989)* pozitív összefüggést talált ugyan a N-trágyázás és a termés között, kifejezettebb volt azonban a N-trágyázás és a minőség közötti negatív kapcsolat. A N-trágyázás így hatástalan maradt, mert a legjobb minőséget a $0 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N-kezelés adta. A dohány íze, aromája kedvező, amennyiben a redukáló cukor/alkaloidák aránya 6-8 között, ill. a N/alkaloidák aránya 1,0 alatt marad.

A minőség viszonylagos fogalom amennyiben a felhasználás céljától függ. A termék tulajdonságainak olyan együttesét jelenti, mely kielégítheti a felhasználók igényeit. A minőség megítélése térben és időben változhat, ahogy az igények módosulnak. Természetszerűen mást jelent a minőség a fogyasztónak és a feldolgozó iparnak. Fogyasztó a megfelelő íz, illat, éghetőség és a minimális egészségkárosító hatásban érdekelt. Az ipar ugyan alárendeli érdekeit a piacnak, de számára a feldolgozás hatékonysága is alapvető szempont. A szabványokban megadott minőségi osztályok a hozzárendelt átvételi árakkal közvetítik az ipar és a piac kívánalmait a termelő felé. A Virginia száraz dohány minőségi osztályai között 500%-os árkülönbség volt pl. 1989-ben (*Gondola 1989a*).

A jövedelmezőséget a minőség alapvetően befolyásolja. A hazai fogyasztás várható csökkenése miatt a termesztés és a gyártás szintentartása szintúgy csak az exportérdekeknek megfelelő minőséggel biztosítható. Az érés folyamán alakul ki a szénhidrátok és a N-vegyületek optimális aránya. Hazánkban a minőséget és az érést főként a nyári csapadék mennyisége és eloszlása, valamint a N-ellátás szabályozza. Az évhátások a burgonyához hasonlíthatóan igen kifejezettek. Azzal az eltéréssel, hogy a száraz-meleg és a hűvös-csapadékos években egyaránt kicsi a Virginia termése. Ez a növény ugyanis együtt igényli a meleget és a csapadékot. Nyíregyháza körzetében 30 éves adatsort elemezve *Móger (1983)* kimutatta, hogy a jó termésű évek 1 körüli hidrotermikus együtthatóval jellemezhetők. Ilyenkor a június, július, augusztus hónapok középhőmérséklete meghaladja a 20 C° -ot, a csapadék 3 havi összege pedig a 200 mm-t.

A dohány gyors fejlődése a nyári kritikus hónapokban egyaránt feltételezi tehát a bőséges víz, tápanyag és hőmérsékleti kínálatot. Homoktalajon a tápelemek és a víz könnyen felvehető, a gyökerek fejlődése nem akadályozott, kielégítő az oxigénellátás is. Utóbbi az energiaigényes elemfelvételt segíti intenzív gyökérképzéssel párosulva. A ritka térállás és gyom-mentesség hivatott biztosítani a növény nagy élettér (levegő, fény, hő, víz, tápanyag) igényét. Ezzel együtt a homoktalajon gyorsan kialakulhatnak tápelem-anomáliák, hiszen kolloidokban szegény, kevésbé pufferolt. Mindez a vegetatív levéltermés mennyiségének és minőségének extrém ingadozását eredményezheti. Az ásványi táplálás irányítása így a minőségi és stabil dohánytermesztés meghatározó tényezője, mely a talajelemzés mellett főként a levélanalízis adataira támaszkodhat.

A tenyészidő 40-70 napja közötti intenzív megnyúlás idején a Virginia dohány szárazanyag gyarapodása megközelítheti a $0,4 \text{ t/ha/nap}$, míg a N-felvétel az 5 kg/ha/nap , a K-felvétel pedig a 8 kg/ha/nap mennyiségeket is, *Gondola (1990b)* vizsgálatai szerint. Táplálkozási zavarok tehát gyakran felléphetnek a dohányhoz hasonló gyors növekedésű kultúrákban. A dohány szárazanyag akkumulációját és elemfelvételét már *Kosutány (1887)* és *Sigmond (1990)* is vizsgálta. Megállapításuk szerint viszonylagos nyugalmi periódus a kiültetést követően kb. 1 hónap, valamint a virágzás eleje. Intenzív megnyúlási időszakban a szervesanyag 50-60%-a, míg a virágzás után 30-40%-a

halmozódik fel. A P-hiányos talajon nem érvényesül az egyoldalú N-trágya. Fontos a P alaptrágyázás, mert a P-igény fiatal korban jelentkezik és csak ezt követi a N. Hazai kötöttebb talajokon a K szerepe alárendelt lehet, de meghatározó jelentőségű a K-ban szegény homoktalajainkon.

Az ÉNY-európai szakirodalom a K meghatározó szerepét hangsúlyozza mind a termés, mind a minőség tekintetében (*Becker-Dillingen 1934, Usherwood 1985, Gething 1990*). A tengeri vagy jégkori üledéken képződött durvaszövetű homokos talajok ugyanis K-ban szegények. Mint *Prjanisnyikov (1965)* megjegyzi, Oroszország és K-Európa talajain a K ritkán minimum tényező NY-Európa tapasztalataival ellentétben. Gyakori viszont a P-hiány és a N-túlsúly a dohánytermesztésben. Szerző a dohánylevelet az akkori fajták összetétele alapján a következők szerint minősítette a korábbi Szovjetunióban:

Minőség	Összes N	Nikotin	Összes szénhidrát
Kiváló	1,88	1,59	23,9
Megfelelő	1,82	1,61	21,9
Közepes	2,30	2,23	15,4
Gyenge	2,41	2,49	12,1

Az N-táplálás jelentőségét jól világítja meg a Krasznodári Dohánykutató Állomáson végzett tenyészedénykísérlet. A növény testének felépítése igényli a normális N-ellátást (különösen a tenyészidő első felében). A minőségjavító szénhidrátok mennyisége 20% felett marad, a nikotin pedig 1% alatt az 1,0 g/edény terhelésig. Majd a N-túlsúly nyomán mintegy az 1/3-ára zuhan a szénhidrátok tartalma, a termés tovább nő, míg a nikotin %-a többszörösére ugrik (*2. táblázat*).

Dohány termése az érett, ipari feldolgozásra alkalmas levél, melynek minőségét az ásványi táplálás meghatározza. Ismeretes, hogy a laza, jól szellőzőtt, vízáteresztő, enyhén savanyú, humuszban viszonylag szegény és kevésbé termékeny (de tápelemekkel kiegyensúlyozottan ellátott) talajon lágy és aromás jó minőségű dohány terem. A főbb tápelemek termésre és minőségre gyakorolt hatását illetően az alábbiakat hangsúlyozzák: (A száraz dohánylevél optimális elemtartalmát az *1. táblázatban* foglaltuk össze különböző szerzők nyomán).

A N a levélben tág határok (tenyészedényben 0,5-3,9%) között ingadozik. A 2% alatti N-tartalom hiányt jelez. Ilyenkor gátolt a növekedés, a klorofill, fehérje, és a nikotin szintézise, a dohányfüst íztelenné válik, az alsó levelek sárgulnak és leszáradnak. A fajtától függően 3-4% N-tartalom felett viszont luxus kínálat áll elő. Felbomlik a fehérje/szénhidrát kívánatos egyensúlya, lecsökken a szénhidrátok (cukor, keményítő) mennyisége, megnő a fehérje és az egyéb minőségrontó N-vegyületek aránya, felhalmozódhat a NO₃-N a levélben, a túl sok nikotin miatt a dohányfüst agresszív ízt kap, romlik az éghetőség, nő a vízfelvétel stb. Ilyenkor a levelek húsosak, szélesek, haragoszöldek lesznek, mely minőség csak a szivarnak felel meg.

A P-tartalom a levélben általában szűkebb tartományban 0,2-0,4 P% között ingadozik. A 0,2% alatti P a levélben hiányzónát jelez, mely a P-ral gyengén ellátott talajon főként hideg tavaszon lép fel, amikor a P-felvétel a talajból korlátozott. A P-hiány lassú növekedést és érést eredményez, valamint gátolja az egyéb elemek mint a N és K beépülését. A levélben felhalmozódnak a félkésztermékek: aminosavak és ásványi N

a fehérje, részben cukrok a keményítő, ill. zsírsavak az olajok helyett. Az 1. táblázatban a dohánylevél optimális összetétele tanulmányozható néhány szerző megítélése alapján.

1. táblázat A száraz dohánylevél optimális elemtartalma különböző szerzők szerint

Elem jele	Mértékegység	Chouteau és* Fauconnier (1988)	Gondola (1990)	Bergmann (1992)	Gething (1990)
K	%	2,5-3,5	2,5-4,8	2,5-4,5	3,0-6,0
N	%	2,0-5,0	2,4-3,8	2,2-2,5	-
Ca	%	1,8-3,6	1,1-2,8	1,3-2,4	-
Mg	%	0,3-1,2	0,3-0,8	0,4-0,8	-
S	%	0,2-0,4	-	-	0,2-0,6
P	%	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,4	-
Mn	mg/kg	50-80	-	50-150	-
B	mg/kg	20-40	-	30-80	-
Zn	mg/kg	20-80	-	25-70	-
Cu	mg/kg	15-21	-	8-15	-
Mo	mg/kg	-	-	0,2-0,6	-

* Kifejezett K-hiány 2,0%; N-hiány 1,5%; Mg-hiány 0,2; S-hiány 0,1%; B-hiány 15 mg·kg⁻¹ alatt.

2. táblázat N-ellátás hatása a dohánylevél tömegére, valamint nikotin és szénhidrát tartalmára. In: Prjanisnyikov (1965)

N-kezelés g/edény (1)	Száraz levéltömeg g/db (2)	Nikotin % (3)	Összes szénhidrát % (4)
Kontroll	3	0,31	25
0,1	10	0,55	22
0,5	12	0,53	26
1,0	17	0,77	24
2,0	27	3,60	9
3,0	30	2,48	6
5,0	32	2,34	5

A K extrém módon 1-8% között ingadozhat a levélben luxusfelvétele miatt. Kifejezett hiányról 2% K-tartalom alatt beszélünk, a kielégítő ellátottságot 2-4 K% jelezheti. A levél K-tartalma a minőséget is jelzi, így fontos értékmérő tulajdonság. A luxusfelvétel kívánatos, mert a K túlsúlya javítja a szárazságtűrést, betegséggellenállóságot, a cigaretta minőségét mint a cukortartalom, éghetőség, élvezhetőség, valamint mérsékli a káros N vegyületek, alkaloidák és a nikotin mennyiségét.

A kolloidokban szegény homoktalajon gyorsan felléphet a talaj K-kimerülése különösen a gyepek után, melyek évente többszáz kg·ha⁻¹ K-ot vehetnek fel. A 2 t/ha levéltermésben 4% K-tartalom esetén 80 kg·ha⁻¹ K, a kóróban további 100-120 kg·ha⁻¹ K

felvétellel számolva a dohány is akár $200 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ mennyiséggel szegényítheti a talajt. A kielégítő K-ellátás fenntartása K-trágyákkal a dohánytermesztés sikerének egyik feltétele. A K-mal jól ellátott talajon nincs jelentős K-reutilizáció, az alsó/közép és felső levelek készlete közelálló, míg a talaj K-hiánya esetén az aljlevelek K-ban elszegényednek, K-készletük nagyobb része a fiatal felső levelekbe vándorol.

A nem megfelelő klorid-tartalmú trágyaszerek alkalmazása esetén ugrásszerűen megnőhet a levélben a káros klorid mennyisége, mely a főérben akár 5-10 %-ot is elérhet. Ekkor a levél higroszkópossá, nehezen száríthatóvá válik, romlik az éghetőség, íz, a dohány értéke töredékére esik. A KCl műtrágya alkalmazása még az elővetemény alá sem ajánlott. Célszerű helyette a K_2SO_4 alkalmazása, mely a termést is jobban növelheti mint a S-forrás. Az optimális termés és minőség a 0,2-0,4 S%-hoz köthető a levélben, a P-hoz hasonlóan. A S-hiány hasonló tüneteket és minőségromlást okoz, mint a P-hiány.

Kívánatos az 1-3% közötti Ca-tartalom (öregedő levelekben nagyobb felhalmozódás), valamint a 0,3-0,8% Mg jelenléte. Mivel a K, Ca, Mg fő-kationok antagonizmusa kifejezett, fontos a K/Ca, K/Mg, Ca/Mg arányok figyelemmel kísérése, *Gondola (1990)* szerint a makroelemek optimális arányai az alábbiak lehetnek: K/P 10-15, K/Mg 8-12, N/P 7-12, Ca/Mg 3-6, K/Ca 1,5-2,5, ill. az N/K 0,6-1,2.

A fontosabb esszenciális mikroelemek minőségre gyakorolt hatásáról kevés tudósítás látott napvilágot. A dohánylevél optimális elemtartalmát az 50-150 mg Mn, 20-80 mg B és Zn, 10-20 mg Cu és $0,2-0,6 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Mo tartalmak tükrözhetik. Az utóbbi időben több figyelmet fordítanak a dohány fémszennye-ződésére. *Gogbill és Hobbs (1957)* a cigarettákban 2,48% K, 2,61% Ca, 0,48% Mg, 805 mg Na, 630 mg Al, 515 mg Fe, 180 mg Mn, 37 mg Cu, 30 mg Zn, 19 mg Pb, 13 mg As, 2 mg Ni és 1 mg Cr mennyiséget talált 1 kg száraz levélben. A szerzők szerint az emelkedett Pb és As a növényvédő-szerekből származhat. A fémek oxidok és karbonátok formájában a cigarettahamuban maradnak. A füstbe a fémek alig 1%-a kerülhet, ebből 90% K, és 5% Na a főáramban az említett szerzők szerint.

Westcott és Spincer (1974) $0,5-3,5 \text{ mg}$ Cd, $4-10 \text{ mg}$ Ni és $8-23 \text{ mg}$ Pb tartalmat mért a dohányban. A vizsgált elemek részben elillannak égéskor. A Cd kevesebb mint 25%-a, az Pb <10%-a, Ni <5%-a került a főáramba. A szűrők/filter a Cd több mint 50%-át tartotta vissza. *Bell és Mulchi (1990)* a 10 legnépszerűbb USA cigaretta típust elemezve arra utal, hogy ma már szokatlanul közelálló a cigaretta fajták összetétele. Az átlagos tartalom az alábbiak adódott: Fe 394, Mn 178, Zn 35, Cu 11, Ni 2,8, Pb 2,4 és Cd $1,0 \text{ mg/kg}$. Megállapításaik szerint nincs abnormálisan nagy fémtartalom a dohányban. Az 1920-1984. között publikált európai és USA-beli adatok szerint a Fe 410-1150, Zn 28-217, Cu 9-66, Pb 1-46, Cd $1-2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ tartalom között ingadozott. Talán az akkori peszticid kezelések eredményeképpen - jegyzik meg a szerzők.

Wagner et al. (1988) vizsgálatai rámutatnak arra, hogy a Cd tekintetében a dohány hajlamos e veszélyes elemet a levélben koncentrálni. Ismert, hogy a gabonák, pillangósok és zöldségek elsődlegesen a gyökérben halmozják fel a legtöbb toxikus elemet. A levél/gyökér Cd-tartalom aránya általában 0,2 alatti. A *N. tabacum* esetén az az arány 1 feletti. Igaz, hogy a *N. rustica* esetén a gyökérbeni visszatartás érvényesül 0,2-0,3 levél/gyökér koncentráció arányokkal.

A dohányzás kimutathatóan járul hozzá a humán Cd-terheléshez. A dohányosok veséje általában kétszeres Cd mennyiséget mutat. A Cd gyorsan elillan a levél égésekor

és 5-20%-a a főáramba kerülhet és belélegezzük. A 40-80% az oldaláramot gazdagítja és passzívan a nemdohányzó lélegezheti be. A belélegzett Cd 40-50%-át a tüdő megkötheti és a továbbiakban egy része a vesében felhalmozódik *Bell et al. (1988)* szerint. Szennyezett talajon ezért a dohány nem termesztendő. A szerzők szabadföldi kísérletükben 0, 56, 112, 224 t/ha érlelt szennyvíziszapot adtak, mely 1300 mg Zn, 570 mg Cu, 280 mg Pb, 45 mg Ni és 13 mg Cd elemet tartalmazott kg szárazanyagban. A 10. év után termesztett dohány levelében a Ni 1-ről 8, a Cd 5-ről 20, a Cu 10-ről 40, Zn 50-ről 800, Mn 100-ról 800 mg·kg⁻¹ értékre ugrott a maximális terhelés nyomán a kontrollhoz viszonyítva. Az Pb tartalma a levélben nem változott.

Az ásványi összetételt a növény kora is befolyásolja. *Gondola (1990)* részletes tápelem-dinamikai vizsgálatokat végzett Virginia típusú dohánynövényen. A mintavétel két éven át folyt a 25. és a 105. napok között 12 alkalommal, heti gyakorisággal NPKCaMg elemekre kiterjedően. A 25. és 105. napon az egyes szervek elemtartalma, az elemek egymáshoz viszonyított arányai a 3. táblázatban bemutatottak szerint alakult.

3. táblázat Mintavétel idejének hatása (a kiültetést követő 25. és 105. napon) a Virginia dohány szerveinek makroelem tartalmára *Gondola (1990)* adatai alapján

Elem jele	Levél		Szár		Gyökér	
	25. nap	105. nap	25. nap	105. nap	25. nap	105. nap
Elemtartalom %-ban (7)						
K	4,42	1,47	4,12	1,96	4,01	1,20
N	3,43	1,25	2,44	1,13	2,33	0,97
Ca	2,72	2,79	1,25	0,67	1,24	0,69
Mg	0,90	0,66	0,46	0,35	0,62	0,50
P	0,17	0,07	0,12	0,07	0,14	0,06
Relatív hígulás a 105. napon (8)						
K	100	33	100	48	100	30
N	100	36	100	46	100	42
Ca	100	103	100	54	100	56
Mg	100	73	100	76	100	81
P	100	41	100	58	100	43
Elemarányok (9)						
K/N	1,3	1,2	1,7	1,7	1,7	1,2
K/Ca	1,6	0,5	3,3	2,9	3,2	1,7
K/Mg	4,9	2,2	10,0	5,6	6,5	2,4
K/P	26,0	21,0	34,3	28,0	28,6	20,0
N/Ca	1,3	0,4	2,0	1,7	1,9	1,4
N/Mg	3,8	1,9	5,3	3,2	3,8	1,9
N/P	20,2	17,9	20,3	16,1	16,6	16,2

Amint a táblázat adataiból látható, a K minden szervben meghaladja a 4%-ot, míg a N a levélben a 3, ill. a szárban és a gyökérben a 2%-ot a 25. napon. A 105. napon e két elem tartalma a felére-harmadára csökken, hígul. A Ca a levélben halmozódik fel és az

öregedéssel nem csökken mennyisége. A szárban és a gyökérben viszont feleződik a korrallal. A fiatal levél a leggazdagabb Mg-ban és mennyisége idővel mérsékelten visszaesik. A dohány szervei P-ban viszonylag szegények és az öregedéssel a P-készlet átlagosan szintén felére zuhan. Az elemarányok jelzik a korrallal fellépő módosulásokat. A N és a K fiatalít, fiatal szervekben dúsul. A 105. napon mindhárom szervben nyomonkövethető a K és a N túlsúlyának mérséklődése az egyéb vizsgált elemekhez képest.

Saját kísérletek eredményei

Nyírlugosi tartamkísérletünkben 1988-ban termesztettünk Virginia dohányt (Kádár et al. 1994). A kritikus hónapokat tekintve júniusban 50, júliusban 66, augusztusban 76, szeptemberben 69, az egész évben a sokéves átlagnak megfelelő 558 mm csapadék hullott. A növényi szervekben meghatároztuk a főbb makro- és mikroelemek mennyiségeit. A hajtást eredés után egy héttel június 3-án, majd 30-50 cm állományban július 15-én a kiültetést követő 56. napon; az alsó, közép és felső leveleket, valamint a szárat bimbózáskor augusztus 11-én a kiültetést követő 83. napon; végül a betakarításkori kórót október 11-én a kiültetést követő 144. napon elemeztük. A termőhely viszonyait átfogóan korábban ismertettük (Kádár és Szemes 1994).

A 4. táblázat adataiból látható, hogy az eredéskori palánta hajtása mindössze 11% sz.a.-ot tartalmaz és N, Ca, Zn, Cu elemekben viszonylag szegény. Az 56 napos hajtás már 17% sz.a.-ot tartalmaz és tömege az eredéskorinak 45-szörösére nőtt, valamint tápelemekben is feldúsult. Gondola (1990) eredményeivel szemben azonban nem következett be a tápelemek drasztikus mérvű visszaesése, hígulása az egyes szervekben az előregedéssel. Így pl. a kóró még október elején is zöld maradt 19% sz. a., 3% körüli

4. táblázat A Virginia dohánynövény elemösszetétele, szárazanyag %-a és tömege egy műtrágyázási kísérlet átlagában 1988-ban (Kovárványos barna erdőtalaj savanyú homok, Nyírlugos, Nyírség) (In: Kádár et al. 1994)

Elem Jele	Mérték- egység	Hajtás ¹	Hajtás ²	Levél ³	Levél ⁴	Levél ⁵	Szár	Kóró ⁶
		06. 03-án	07. 15-én	Bimbózáskor 08. 11-én				10. 11-én
K	%	3,92	4,32	3,91	3,67	3,46	3,10	2,98
N	%	2,74	3,24	3,20	3,60	3,94	2,56	2,39
Ca	%	0,58	0,87	1,84	1,42	1,02	0,80	1,14
Mg	%	0,30	0,32	0,43	0,39	0,34	0,27	0,76
P	%	0,30	0,35	0,25	0,27	0,24	0,25	0,33
Fe	mg/kg	521	736	569	517	579	320	724
Mn	mg/kg	888	503	500	461	431	301	405
Zn	mg/kg	34	44	44	42	40	29	38
Cu	mg/kg	4	11	10	10	12	12	10
Sz.a.	%	11	17	20	21	22	18	19
Sz.a.	g/10 növény	13	590	428	319	190	579	650

Eredéskor¹, 30 - 50 cm magasságban², alsó levél³, középső levél⁴, felső levél⁵, kóró aratáskor⁶.

K és 2% feletti N tartalommal. A bimbózáskori állapothoz viszonyítva a N és K tartalma alig mérséklődött a két hónap alatt. Az augusztus és szeptember hónapok folyamán nemcsak a kóró tömege, de a Ca Mg, P, Fe, Mn, Zn tartalma is érdemben nőtt, az elemfelvétel esetenként pedig megtöbbszöröződött.

Az augusztus 11-én vett alsó, középső és felső levelek 20-22% sz.a.-ot tartalmaztak, a kifejlett alsó levelek tömege több mint kétszeresen haladta meg a fiatal felső levelekét. Az alsó levelekben dúsult a K, Ca, Mg, Mn és a Zn. Levéldiagnosztikai szempontból megállapítható pl. *Bergmann (1992) 1. táblázatban* közölt ellátottsági határkoncentrációt figyelembe véve, hogy a dohány kielégítő ellátottságot jelzett a K, Ca, Mg, P, Zn, Cu elemekben, sőt a N és Mn ellátottság az optimális feletti volt átlagosan. Mindez visszavezethető volt a bőséges, palántázást megelőző 35 t/ha istállótrágyázásra és műtrágyázásra, mely utóbbi átlagosan 120 kg/ha/év N, P₂O₅, K₂O, Ca és 60 kg/ha/év Mg adagokat jelentett. A mérsékelt vízellátottság nyomán ugyanakkor a termés mérsékelt maradt, az ásványi elemek felhalmozódtak a növényi részekben, mely gyenge minőségű levéltermést eredményezett.

A levelek törésére július 26-án, augusztus 22-én és szeptember 10-én került sor. Az összes betakarított légszáraz levéltermés 1,6 t/ha mennyiséget tett ki és hasonlóan 1,6 t/ha volt az október 11-i kórótermés légszáraz tömege. A „B” minőségű/osztályú levelek aránya 68%, a cukor 10%, alkaloida 0,74%, beváltási ár 76 eFt/t, bevétel 121 eFt/ha volt a kísérlet átlagában. A letört levélterméssel és a késő őszi betakarított kóróterméssel felvett elemek mennyiségeit az 5. táblázatban mutatjuk be. Az adatokból látható, hogy a K, N, Ca, Mn nagyobb tömegét a levél, míg a Mg és Fe nagyobb mennyiségét a kóróban találjuk. A P, Zn, Cu közelítően egyenletesen oszlik meg a növényi részekben.

5. táblázat A dohány letört levéltermésével és betakarított kórótermésével felvett tápelemek mennyiségei 1988-ban (Kádár et al. 1994) (Kovárványos barna erdőtalaj savanyú homok, Nyírlugos, Nyírség)

Elem jele	Mértékegység	1,6 t/ha összes levéltermésben	1,6 t/ha Kóróban	3,2 t/ha Biomasszában	Fajlagos* elemtartalom
K	kg/ha	59	48	107	67
N	kg/ha	58	38	96	60
Ca	kg/ha	23	18	41	26
Mg	kg/ha	6	12	18	11
P	kg/ha	4	5	9	6
Fe	g/ha	912	1158	2070	1294
Mn	g/ha	738	648	1386	866
Zn	g/ha	67	61	128	80
Cu	g/ha	16	16	32	20

* 1 t levél + a hozzátartozó földfeletti melléktermés elemtartalma. Átszámítás: P x 2,29 = P₂O₅, K x 1,20 = K₂O, Ca x 1,40 = CaO, Mg x 1,67 = MgO.

A 3,2 t/ha biomassza 107 kg K (128 kg K₂O), 96 kg N, 41 kg Ca (57 kg CaO), 18 kg Mg (30 kg MgO), 9 kg P (21 kg P₂O₅), mintegy 2,1 kg Fe; 1,4 kg Mn, 128 g Zn és 32 g Cu elemet akkumulált. A dohány tápelemigényes kultúra. Főként N-t és azokat a kationokat

igényli, melyben a savanyú homoktalajok különösen szegények: K, Ca, Mg. A fajlagos, 1 t levéltermés a hozzátartozó mellék-terméssel elemtartalma kifejezett. A kielégítőbb, 3 t/ha tervezett levélterméssel + mellékterméssel pl. 180 kg N, 241 kg K₂O, 109 kg CaO, 55 kg MgO és 41 kg P₂O₅ igény léphet fel. A bőséges N-kínálattal együtt gyenge minőségű levéltermés várható azonban. A szaktanácsadás során a hazai viszonyok között 30 kg fajlagos N-tartalommal számolhatunk. Humuszosabb talajon esetleg N-trágyázás nélkül kaphatjuk a legjobb minőséget, ahogy erre korábban *Gondola (1989)* rámutatott.

A 6. táblázat áttekintést ad az 1990. évi országos dohányökológiai felmérés fontosabb eredményeiről, mely 129 termőhelyet érintett az országban. Ebben a száraz évben a kritikusabb júniusi+júliusi csapadékösszegek mindössze 99 mm-t jelentettek. A levéltermés 0,6 és 3,6 t/ha; az alkaloida 0,4 és 4,3%; redukáló cukor 2 és 40%; világos ,B' minőségű osztály 7 és 94%; beváltási ár 55 és 113 eFt/t, a bevétel 47 és 296 eFt/ha között ingadozott a dohánytermőhelyek között. A minimum és maximum értékek utalnak arra, hogy milyen extrém eltérések fordulhatnak elő egy évben a letört levelek makro- és mikroelem tartalmában és azok egymáshoz viszonyított arányaiban.

6. táblázat Az 1990. évi országos dohány-ökológiai vizsgálat főbb jellemző adatai (n=129) (In: Kádár et al. 1994)

N°	Mért jellemzők	Minimum	Maximum	Átlag	CV%
1.	Beváltási ár eFt/t	55	113	84	14
2.	Bevétel eFt/ha	47	296	128	37
3.	Világos ,B' osztály %	7	94	66	25
4.	Redukáló cukor %	2	40	11	47
5.	Levéltermés t/ha	0,6	3,6	1,6	37
6.	Összes alkaloida %	0,4	4,3	2,0	51
7.	N%	1,53	4,94	2,82	28
8.	K%	1,22	6,21	2,46	37
9.	Ca%	0,85	5,86	2,97	39
10.	Mg%	0,18	1,69	0,50	52
11.	P%	0,10	0,35	0,21	21
12.	Fe mg/kg	144	1557	582	50
13.	Mn mg/kg	52	3305	608	125
14.	Na mg/kg	12	1363	361	69
15.	Zn mg/kg	12	172	47	64
16.	Cu mg/kg	3	103	15	118
17.	N/Cu arány	159	9880	3098	55
18.	N/Mn arány	12	610	138	83
19.	P/Zn arány	9	179	62	59
20.	Ca/Mn arány	4	741	194	102
21.	K/Mg arány	1	15	6	56
22.	K/Ca arány	0,2	3,8	1,1	73

Megjegyzés: 1-6. sz. jellemzők a Dohánykutató Intézet vizsgálatai, 7-22. sz. jellemzők a Debreceni NTÁ vizsgálatai

A makroelem-összetételben általában néhányszoros, míg a mikroelemek terén nagyságrendbeli különbségek is felléphetnek. Így pl. a Fe kereken 11, Mn 64, Na 114, Zn 14, Cu 34-szeres módosulást jelez. Az elemarányok terén extrémítással kitűnik a Ca/Mn aránya. A Ca Mn-hoz viszonyított túlsúlya 4-szeres, más esetben 741-szeres is lehet a levélben, azaz 185-szörös változás élettanilag előfordulhat e növényben.

Korábban végzett összefüggés-vizsgálataink szerint a levelek nehézfém-tartalma drasztikusan eltért a dohánytermesztő-körzetek szerint. A Duna-Tisza közti semleges vagy meszes termőhelyeken és az ország középső részén a Cd 0,50; a Co 0,02; a Ni 0,33; az Pb 0,38; a Zn 20; a Mn 82 mg·kg⁻¹ sz.a. értéket mutatott átlagosan. A Nyírségben és az ország É-K-i régióiban ahol a talajok átlagos pH (KCl) értéke 4,50 volt, a levélben a Cd 1,89 mg; a Co 0,52 mg; a Ni 5,40 mg; az Pb 1,17 mg; a Zn 58 mg; a Mn 471 mg volt átlagosan kg szárazanyagban. Kívánatos tehát az erősen savanyú dohánytermő talajok meszezése a dohánylevél nehézfém-tartalmának csökkentése, a dohányosok egészségének védelme érdekében.

Összefoglalás

Áttekintettük a dohány termesztésével kapcsolatos általános alapelveket, ismertetve e növény ökológiai igényét. Elemeztük a minőséget befolyásoló fontosabb tényezőket, különös tekintettel az egyes tápelemek szerepére, összefoglalva a nemzetközi és hazai irodalom tanulságait. Bemutattuk a növény tápláltsági állapotának ellenőrzésére szolgáló diagnosztikai optimumokat. Saját kísérletünkben is vizsgáltuk a dohány elemfelvételét a tenyészidő folyamán. Adataink szerint az 1 t légszáraz levéltermés a hozzátartozó mellékterméssel 60-70 kg N és K, 26 kg Ca, 11 kg Mg, 6 kg P elemet vonhat ki a talajból. Eredményeink hasznosíthatók a tervezett termés tápelemigényeinek számításainál a trágyázási szaktanácsadásban. Meg kell említeni, hogy a bőséges N-ellátással azonban gyenge minőségű levéltermés képződik. A tervezett termés N-trágya igénye a Virginia fajtáknál a talaj humusz-tartalmától, ill. N-kínálatától függően 0-30 kg/t között ingadozhat. A koratavaszi 0-60 cm talajréteg NO₃-N készlete ismeretében a fajlagos N-igény csökkenthető, esetleg a N-trágyázás el is hagyható.

Az 1990. évi országos felmérés tapasztalatai is arra utaltak, hogy hasonló száraz évben a dohány-termése és ásványi összetétele, minősége rendkívüli mértékben ingadozhat termőhelyenként öntözés nélkül. Megállapítottuk, hogy a pH (KCl) 5 alatti termőhelyeken (Nyírség, É-K Magyarország) a nehézfémek extrém módon felhalmozódhatnak a levélben. A meszezés szükségessé válhat humán egészségügyi szempontból is, a dohányosok nehézfémterhelésének csökkentése céljából. Savanyú termőhelyeken a Co 0,52 mg; Cd 1,89 mg; Pb 1,17 mg; Ni 5,40 mg; Zn 58 mg; Mn 471 mg értéket mutatott szárazanyagban. Semleges, ill. meszes körzetekben az alábbi átlagtartalmakat kaptuk: Co 0,02 mg; Pb 0,38 mg; Ni 0,33 mg; Zn 20 mg; Mn 82 mg.

Irodalom

- Becker – Dillingen, J. (1934): Handbuch der Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Paul Parey Verlag. Berlin.
- Bell, P. – Mulchi, Ch.L. (1990): Heavy metal concentrations in cigarette-blends. Tobacco Sci. 34:32-34.

- Bell, P.F. – Adamu, C. A. – Mulchi, C.L. – McIntosh, M. – Chaney, R.L. (1988): Residual effects of land applied municipal sludge on tobacco. I. Effects on heavy metal concentrations in soils and plants. *Tobacco Sci.* 32:33-38.
- Bergmann, W. (1992): *Nutritional Disorders of Plants*. Gustav Fischer Verlag. Jena – Stuttgart – New York.
- Borsos J. (Szerk.: 1976): *A dohány nagyüzemi termesztése*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Chouteau, J. – Fauconnier, D. (1988): Fertilizing for high quality and yield. *Tobacco. IPI. Bulletin N° 11*. Bern, Switzerland.
- Cogbill, E. C. – Hobbs, M.E. (1957): Transfer of metallic constituents of cigarettes to the main – stream smoke. *Tobacco Sci.* 1:68-73.
- Cserhádi S. (1900): *Általános és különleges növénytermelés*. Czeh Sándor – féle Könyvnyomda. Magyar – Óvár.
- Ditz, H. (1867): *A magyar mezőgazdaság*. Szerk.: Kádár I. MTA TAKI. Budapest, 1993.
- Finck, A. (1982): *Fertilizers and Fertilization*. Verlag Chemie. Weinheim, Deerfield Beach, Florida.
- Gething, P. A. (1990): *Potash Facts*. Intern. Potash Inst. Bern, Switzerland.
- Gondola I. (1988): Az ökológiai tényezők és a genotípus szerepe a Virginia dohányok NPK tartalmának változékonyságában. *Növénytermelés*. 37: 409-419.
- Gondola I. (1989a): Összefüggés a Virginia dohányok hozamam és minőségi jellemzői között a N-műtrágyázás függvényében. *Növénytermelés*. 38:241-251.
- Gondola I. (1989b): Virginia dohányok fajlagos NPK-igényének vizsgálata. *Agrokémia és Talajtan*. 38:357-368.
- Gondola I. (1990): Szárazanyag-felhalmozás és tápelem-dinamikai vizsgálatok Virginia típusú dohánynövényen. *Agrokémia és Talajtan*. 39: 48-58.
- Gondola I. (1994): Kölcsönhatás-vizsgálatok az évjárat, a növényfajta és a N-műtrágyázás között öntözött Virginia dohányon. *Növénytermelés*. 43:229-241.
- Kádár I. – Gondola I. (1994-95): Heavy metal content of flue-cured tobacco leaf in different growing regions of Hungary. *Acta Agr. Hung.* 43:243-251.
- Kádár I. – Szemes I. (1994): *A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve*. MTA TAKI. Budapest.
- Kádár I. – Vass E. – Gondola I. (1994): Műtrágyázás és meszezés hatása a dohányra 1988-ban. In: *A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve*. 100-132. Kádár I. – Szemes I. MTA TAKI. Budapest.
- Kosutány T. (1887): *Magyarország jellemzőbb dohányainak kémiai és növényélettani vizsgálata*. Kir. Magyar Természettud. Társulat. Budapest.
- Lakanen, E. – Erviö, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. *Acta Agr. Fenn.* 123:223-232.
- Móger J. – Szűcs K. (1966): *A dohány termesztése*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Móger J. (1983): *Korszerű dohánytermesztés*. Mezőgazdasági Kiadó Budapest.
- Pranisnyikov, D. N. (1965): *Izbrannüe Szocsinenija. Tom II. Cszatnoe Zemledelie. Izd. „Kolosz”*. Moszkva.
- ’Sigmund E. (1900): *Tanulmány a tengeri és a dohány tápanyagfelvételéről*. Kísérletügyi Közlemények. 3:54-92.
- Szmirnov, N.D. (1960): *Tabak*. In: *Szpravocsnik po mineral’num udobrenijam*. 347—352. Red.: Katalümov, M.V. Szel’hozgiz. Moszkva.
- Usherwood, N. R. (1985): The role of K in crop quality. In: *Potassium in agriculture*. Ed.: Munson, R. D. 489-513. ASA, CSSA, SSA Publ. Madison, Wisc.
- Wagner, G.J. – Sutton, T.G. – Yeagan, R. (1988): Root control of leaf cadmium accumulation in tobacco. *Tobacco Sci.* 32:88-91.
- Westcott, D.T. – Spincer, D. (1974): The Cd, Ni and Pb content of tobacco and cigarette smoke. *Beiträge zur Tabakforschung*. 7/4: 217-221.

A hazai dohány termőhelyek talajtani/agrokémiai vizsgálata

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Mióta Kolombusz 1492-ben megtalálta a dohányt Közép-Amerikában, az egész világon elterjedt. Értékes, belterjes, munkaigényes kultúrává vált, melyet ma mintegy 5 millió ha-on termelnek. Ez a szántó 0,06%-át jelenti. Jelentősége azonban szinte nagyságrenddel nagyobb területi részarányánál termelési értéke miatt. Hazánkban az 1980-as években a szántó 0,2%-át foglalta el évi 10 ezer ha körüli területtel. Jelentősége azóta némileg visszaszorult.

A *Nicotiana* nemzetségnek két faja jelentős gazdaságilag. A kizárólag ipari célokra termelt Kapadodohány (*N. rustica* L.) és az élvezeti célra termelt dohány (*N. tabacum* L.). A továbbiakban a *N. tabacum* fajjal foglalkozunk, melyet szintén sokféleség jellemez. Osztályozzák a felhasználás és a szárítás módja szerint (*Chouteau és Fauconnier 1988*):

- Virginia típusú mesterséges szárítású (flue-cured) cigarettadohány és pipadohány
- Kentucky típusú füstöléssel száradó cigarettadohány, pipadohány és rágódohány
- Keleti típusú napon száradó cigarettadohány és pipadohány

A Virginia fajtákat Magyarországon az 1930-as évek óta termesztik. A száraz levéltermés 1-2 t/ha, ami elmarad a kedvezőbb ökológiai adottsággal rendelkező országoktól. A palántázás májusban történik, a virágzás 60-70 nap múlva augusztus elejéig kiteljesedik és ezzel az aljlevelek technikai érése is bekövetkezik. A virágzat eltávolítása (tetejezés vagy bugázás) idején kerülhet sor az aljlevelek törésére, majd 7-10 naponként, 4-5 menetben a további levélszintek eltávolítására. A betakarítás így szeptember végéig elhúzódik, mert mindig csak az érett leveleket törik le, válogatottan. Az egyéves dohány 6-8 hetet palántaágyban tölt, így a teljes tenyészidő hossza hazánkban 6-7 hónapot is elérheti, melyből 4-5 hónap a szabadföldi időszak (*Gondola 1988*).

Borsos (1976) szerint a Virginia fajták a 20-30% leiszapolható részt meg nem haladó, 28-37 kötöttségű (K_A), 5-7 pH (KCl) értékkel jellemzett talajokon díszlenek megfelelően. A kifejezetten lúgos vagy erősen savas talaj nem alkalmas dohánytermesztésre. Hasonlóképpen a sós, szikes-szódás talajok sem. Meszezést ott javasolnak ahol a hidrolitos aciditás 4 fölé emelkedik. A fent említett homokos és homokos-vályog talajokon vékony levelű finom cigarettadohány terem.

A dohány igazi hazája a Nyírség, mely az ottani homoki területek legértékesebb szántóföldi növénye. Kézimunka szükséglete nagy, ezért döntően kisüzemi jelleggel termesztik. Szinte az egész évben elfoglaltságot ad. Kora tavasszal kezdődik a palántanevelés, majd ezt követi a kiültetés, a többszöri kapálás, nyáron a tetejezés/kacsozás, az ősze áthúzódó többszöri törés, a levelek szárítása, télen a válogatás, csomózás. Művelése speciális ismereteket igényel, termesztésével nagyüzemekben állandó brigádok foglalkoztak. Hazánkban a dohánytermő terület 2/3-a a Nyírségben található és itt terem a Virginia dohányok zöme. A levél általában 2-3% N-t tartalmaz, füstjének kémhatása savas. A nikotin 1-2% körüli a kívánalmaknak megfelelően, a redukáló cukor pedig kedvezően nagy 12% feletti értékkel.

A dohány művelése nemcsak megélhetést biztosított a lakosság egy részének az ország egyik legszegényebb vidékén, de kultúrát is teremtett. Történetileg szemlélve hatással volt az egész mezőgazdaság belterjessé tételében. Elővetemény értéke kiváló, hiszen gondos ápolást és trágyázást igényel a talaj kultúr-állapotát és termékenységét növelve. A dohány ilyen sokoldalú pozitív hatását a gazdálkodásra már a klasszikus irodalom is kiemeli (*Ditz 1867, Cserhádi 1900*).

A minőség viszonylagos fogalom amennyiben a felhasználás céljától függ. A termék tulajdonságainak olyan együttesét jelenti, mely kielégítheti a felhasználók igényeit. A minőség megítélése térben és időben változhat, ahogy az igények módosulnak. Természetszerűen más jelent a minőség a fogyasztónak és a feldolgozó iparnak. Fogyasztó a megfelelő íz, illat, éghetőség és a minimális egészségkárosító hatásban érdekelt. Az ipar ugyan alárendeli érdekeit a piacnak, de számára a feldolgozás hatékonysága is alapvető szempont. A szabványokban megadott minőségi osztályok a hozzárendelt átvételi árakkal közvetítik az ipar és a piac kívánalmait a termelő felé. A Virginia száraz dohány minőségi osztályai között 500%-os árkülönbség volt pl. 1989-ben (*Gondola 1989*).

Az ÉNY-európai szakirodalom a K meghatározó szerepét hangsúlyozza mind a termés, mind a minőség tekintetében (*Becker-Dillingen 1934, Usherwood 1985, Gething 1990*). A tengeri vagy jégkori üledéken képződött durvaszövetű homokos talajok ugyanis K-ban szegények. Mint *Prjanisnyikov (1965)* megjegyzi, Oroszország és K-Európa talajain a K ritkán minimum tényező NY-Európa tapasztalataival ellentétben. Gyakori viszont a P-hiány és a N-túlsúly a dohánytermesztésben. A N a levélben tág határok (tenyészedényben 0,5-3,9%) között ingadozik. A 2% alatti N-tartalom hiányt jelez. Ilyenkor gátolt a növekedés, a klorofill, fehérje, és a nikotin szintézise, a dohányfüst ízetlenné válik, az alsó levelek sárgulnak és leszáradnak. A fajtától függően 3-4% N-tartalom felett viszont luxuskínálat áll elő.

A P-tartalom a levélben általában szűkebb tartományban 0,2-0,4 P% között ingadozik. A 0,2% alatti P a levélben hiányt jelez, mely a P-ral gyengén ellátott talajon főként hideg tavaszon lép fel, amikor a P-felvétel a talajból korlátozott. A P-hiány lassú növekedést és érést eredményez, valamint gátolja az egyéb elemek mint a N és K beépülését. A levélben felhalmozódnak a félkésztermékek: aminosavak és ásványi N a fehérje -N helyett, részben cukrok a keményítő, ill. zsírsavak az olajok helyett.

A K extrém módon 1-8% között ingadozhat a levélben luxusfelvétele miatt. Kifejezett hiányról 2% K-tartalom alatt beszélünk, a kielégítő ellátottságot 2-4 K% jelezheti. A levél K-tartalma a minőséget is jelzi, így fontos értékmérő tulajdonság. A luxusfelvétel kívánatos, mert a K túlsúlya javítja a szárazságtűrést, betegsége ellenállóságot, a cigaretta minőségét mint a cukortartalom, éghetőség, élvezhetőség, valamint mérsékli a káros N vegyületek, alkaloidák és a nikotin mennyiségét. Kedvező az 1-3% közötti Ca-tartalom (öregedő levelekben nagyobb felhalmozódás), valamint a 0,3-0,8% Mg jelenléte. Mivel a K, Ca, Mg kationok antagonizmusa kifejezett, fontos a K/Ca, K/Mg, Ca/Mg arányok figyelemmel kísérése, *Gondola (1990)* szerint a makroelemek optimális arányai az alábbiak lehetnek: K/P 10-15, K/Mg 8-12, N/P 7-12, Ca/Mg 3-6, K/Ca 1,5-2,5, ill. az N/K 0,6-1,2.

A fontosabb esszenciális mikroelemek minőségre gyakorolt hatásáról kevés tudósítás látott napvilágot. A dohánylevél optimális elemtartalmát az 50-150 mg Mn, 20-80 mg B és Zn, 10-20 mg Cu és 0,2-0,6 mg·kg⁻¹ Mo tartalmak tükrözhetik. Az utóbbi

időben több figyelmet fordítanak a dohány fémzennyeződésére. *Cogbill és Hobbs (1957)* a cigarettákban 2,48% K, 2,61% Ca, 0,48% Mg, 805 mg Na, 630 mg Al, 515 mg Fe, 180 mg Mn, 37 mg Cu, 30 mg Zn, 19 mg Pb, 13 mg As, 2 mg Ni és 1 mg Cr mennyiséget talált 1 kg száraz levélben. Szerzők szerint az emelkedett Pb és As a növényvédő-szerekből származhat. A fémek oxidok és karbonátok formájában a cigarettahamuban maradnak. A füstbe a fémek alig 1%-a kerülhet, ebből 90% K, és 5% Na a főáramban az említett szerzők szerint.

A dohányzás kimutathatóan járul hozzá a humán Cd-terheléshez. A dohányosok veséje általában kétszeres Cd mennyiséget mutat. A Cd gyorsan elillan a levél égésekor és 5-20%-a a főáramba kerülhet és belélegezzük. A 40-80% az oldaláramot gazdagítja és passzívan a nemdohányzó lélegezheti be. A belélegzett Cd 40-50%-át a tüdő megkötöheti és a továbbiakban egy része a vesében felhalmozódhat *Bell et al. (1988)* szerint, ezért szennyezett talajon dohány nem termesztendő. A szerzők szabadföldi kísérletükben 0, 56, 112, 224 t/ha érlelt szennyvíziszapot adtak, mely 1300 mg Zn, 570 mg Cu, 280 mg Pb, 45 mg Ni és 13 mg Cd elemet tartalmazott kg szárazanyagban. A 10. év után termesztett dohány levelében a Ni 1-ről 8, a Cd 5-ről 20, a Cu 10-ről 40, Zn 50-ről 800, Mn 100-ről 800 mg·kg⁻¹ értékre ugrott a maximális terhelés nyomán a kontrollhoz viszonyítva. Az Pb tartalma a levélben nem változott.

A továbbiakban megkíséreljük bemutatni az 1990. és 1991. évi országos dohánytermőhelyi felmérés eredményeit, a termőhelyek és termőtájak talajvizsgálati, termés és levélvizsgálati adatait. Összefüggéseket keresünk a talajtulajdonságok és a levél minőségi jellemzői között. A sokezeres adattömeg részletes elemzése áttekintést nyújthat egyben a hazai dohánytermő talajok, táblák, állapotáról, a termelt dohánylevél elemösszetételéről, káros nehézfém-tartalmáról is a vizsgált években. Hasonlóan nagyszabású és interdiszciplinális megközelítést igénylő felmérésre korábban nem került sor, így a közlés hiányt pótolhat a hazai szakirodalomban. A hazai és nemzetközi szakirodalom alapján a dohány ásványi táplálásáról ezt megelőzően már áttekintést adtunk (*Kádár 2006*).

Anyag és módszer

A vizsgálatokba összesen 192 dohánytermő üzemet/táblát vontunk be, melyeken Virginia típusú dohányt termesztettek kereskedelmi céllal. A gazdaságok véletlenszerűen lettek kiválasztva (1990-ben 112, 1991-ben 80), eloszlásuk arányos volt a Virginia termőterületével régióként és országosan is. A talajmintákat részben a dohánytermeltető vállalat körzeti szaktanácsadója, részben a gazdálkodó vette meg az előírt *MÉM NAK (1978)* útmutatás szerint a szántott rétegből a kiültetés, ill. a műtrágyázás előtt. A táblánként vett 2-2 átlagminta minimum 10-10 fűrés összekeveréséből készült. A levélmintákat a dohány bevéltásakor, tehát az értékesítéskor a beváltó-üzemi termeltető szakember vette. Az átlagminta 0,5 kg-ot tett ki több helyről véve a 'B' válogatási osztályból. Ekkor állapították meg a légszáraz termés tömegét is. A dohányökológiai felmérésbe bevontuk a nyírlugosi dohány meszezési és műtrágyázási tartamkísérlet kezeléseit is: N, NK, NPK, NPK Ca, NPK Mg, NPK Ca Mg.

A kezeléenkénti 2-2 ismétlés 14 adattal bővítette adatbázisunkat. A kísérlet módszerét és körülményeit korábban már részletesen ismertettük (*Kádár és Szemes 1994*).

Talajmintákat a Debreceni Növény- és Talajvédelmi Állomás fogadta és elemezte a szabványok előírásai szerint (*Baranyai et. al. 1987*) az alábbi jellemzőkre: pH, K_A , összes só, $CaCO_3$, humusz, NO_3+NO_2-N , AL-oldható, P, K, Na-tartalom, KCl-oldható Mg, KCl+EDTA oldható Mn, Zn és Cu. Ezt követően az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében meghatároztuk a $cc.HNO_3+cc.H_2O_2$ feltárásból az u.n. „összes”, ill. a *Lakenen és Erviö (1971)* által ajánlott módon az NH_4 -acetát+EDTA oldható 22 elemet ICP technikát alkalmazva.

A Debreceni Dohánykutató és Fejlesztő Intézet laboratóriuma állapította meg a levélminták N, összes alkaloida és redukáló cukor %-át az Intézetben elfogadott rutin eljárásokkal (*Módszerkönyv 1968*). A Debreceni Növény- és Talajvédelmi Állomás a növényminták összetételét $cc.H_2SO_4+cc.H_2O_2$ roncsolás után N, P, K, Ca, Mg, Na, Fe, Mn, Zn, Cu elemekre határozta meg. Ezt követően az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézetében $cc.HNO_3+cc.H_2O_2$ feltárásból 22 elemet vizsgáltunk ICP technikát alkalmazva. A termés, beváltási ár, bevétel és a Világos Válogatási Osztály adatait a Dohánykutató Intézet rögzítette.

A sokezres adatállományt többféleképpen csoportosítottuk: pH (KCl) szerint, beváltó-körzetek szerint, nagytájak szerint, évek szerint, valamint bemutattuk az adatok és mért jellemzők szórását, minimum-maximum értékeit, átlagait és korrelációit számítottunk a talaj- és növényelemzési adatok, ill. a növényi összetétel és néhány környezeti tényező között. A felmérés körülményeiről néhány részeredményről korábban már beszámoltunk (*Gondola és Kádár 1994-95*).

Ami a dohánytermés minőségét és mennyiségét meghatározó kritikus júniusi és júliusi két hónap csapadékösszegét érinti megállapítható volt, hogy 1990. év aszályosnak minősült a 99 mm kéthavi csapadékkal, míg az 1991. év ugyanezen idő alatt lehullott 166 mm kedvezőbb feltételeket teremtett a növény fejlődéséhez és a jobb levélminőség létrehozásához.

Eredmények

Amint az *1. táblázat* adatai mutatják, a dohánytermő talajok tulajdonságai rendkívüli mértékben és széles sávban szórtak. Egyaránt magukban foglalják az erősen meszes savanyú; a humuszban igen szegény és szervesanyagban gazdag; a laza homok és kötött vályog; oldható makro- és mikroelemekben extrém módon szegény és túlsúlyos vagy szennyezett talajokat. Ami az „oldható” elemkészletek illeti pl. az AL-PK tartalmában 20-szoros; KCl-oldható NO_3-N -ben 41-szeres, ill. a Mg-készletben 57-szeres; EDTA-Cu tartalommal 280-szoros, ill. az EDTA-Zn készletben 830-szoros eltérést találtunk a minimum és maximum értékek között.

A *2. táblázatban* a dohánytermő területek talajvizsgálati eredményeit talajcsoportokba rendeztük. Az összes termőhely 63%-át savanyú homok, 28%-át a meszes homok talajok képezik. A homok termőhelyek aránya tehát 91%-ot tett ki. A kötött talajok kereken 8, míg a kotus talajok 1%-os arányt képviseltek. A talajcsoportok szerint változnak az alaptulajdonságok alapértékei mint a pH (KCl), $CaCO_3$, K_A . Látható, hogy a kotus talajok szervesanyagban gazdagok, de a NO_3-N készletük csekély. Az oldható Na, Mg és Mn készletet tekintve a kötött termőhelyek, AL-PK készlet alapján a kotus és kötött termőhelyek gazdagok leginkább. A Zn-szennyezés meszes homoktalajokon lehet jelentős.

1. táblázat: Dohánytermő területek talajvizsgálati jellemzői. Szántott réteg, 1990. és 1991. évek adatai (n=206) (Debreceni NTÁ vizsgálati)

Mért jellemzők	Mértékegység	Minimum	Maximum	CV%	Átlag
CaCO ₃	%	0,0	11,5	182	1,6
Humusz	%	0,3	6,1	63	1,2
pH (KCl)		3,5	8,1	26	5,6
(KCl-) NO ₃ -N	mg/kg	1,7	67,4	69	16
Kötöttség (K _A)		25,0	53,0	17	27
AL-Na	mg/kg	1	104	66	25
KCl-Mg	mg/kg	13	744	120	92
AL-P ₂ O ₅	mg/kg	47	920	66	274
AL-K ₂ O	mg/kg	43	868	60	282
EDTA-Cu	mg/kg	0,2	56	188	5
EDTA-Zn	mg/kg	0,4	332	538	7
EDTA-Mn	mg/kg	10,1	337	73	119

2. táblázat Dohánytermő területek talajvizsgálati jellemzői talajcsoportok szerint. Szántott réteg, 1990. és 1991. évek adatai (Debreceni NTÁ vizsgálati)

Vizsgált jellemzők (mintaszám, n)	Mértékegység	Savanyú homok (n=130)	Meszes homok (n=58)	Összes homok (n=188)	Kötött talaj (n=16)	Kötés talaj (n=2)	Összes termőhely (n=206)
CaCO ₃	%	0,0	5,3	1,6	0,8	0,0	1,6
Humusz	%	1,0	1,2	1,1	2,4	6,1	1,2
pH (KCl)		4,7	7,6	5,6	6,2	4,9	5,6
(KCl-) NO ₃ -N	mg/kg	16	14	16	22	9	16
Kötöttség (K _A)		26	27	26	42	28	27
AL-Na	mg/kg	18	34	23	48	17	25
KCl-Mg	mg/kg	50	103	66	400	60	92
AL-P ₂ O ₅	mg/kg	222	340	258	424	500	274
AL-K ₂ O	mg/kg	264	263	264	442	720	282
EDTA-Cu	mg/kg	4	5	5	4	6	5
EDTA-Zn	mg/kg	2	21	8	3	3	7
EDTA-Mn	mg/kg	130	58	108	228	292	119

A talajvizsgálati átlagokat tájanként csoportosítva és az emelkedő pH (KCl) függvényében tanulmányozhatjuk a 3. táblázatban. A pH emelkedésével a 6-7 pH (KCl) tartományig nő a talajok átlagos kötöttsége, humusz %-ra, valamint az AL-PK és a KCl+EDTA-Mn tartalma az összes minta (n=206) és az Alföld (n=182) mintacsoportban

egyaránt. A 7 feletti pH (KCl) tartományban, tehát a kifejezetten meszes talajok esetében, ezek az említett mutatók visszaesést jeleznek. Az emelkedett mésztartalom hígulást eredményezhet, ill. mérsékelheti szemmel láthatóan a Mn oldhatóságát. A dunántúli talajmintáknál a 6-7 pH (KCl) tartományban található a kötöttebb, enyhén meszes, AL-P és AL-Na tartalomban és oldható Mn-ban gazdagabb termőhelyek. Megemlítjük, hogy az Alföld 182 dohánytermő táblájából a hevesi homokhát 16, Tápiómente 6, Duna-Tisza köze 41, Tiszavidék 8, míg a Vadászpatak-mente 2 db mintával szerepelt.

3. táblázat Dohánytermő területek talajvizsgálati jellemzői tájanként és a pH (KCl) függvényében. Szántott réteg, 1990. és 1991. évek adatai (Debreceni NTÁ vizsgálatai)

pH (KCl)	Minta-szám (n)	K _A	Humusz %	CaCO ₃ %	AL-P ₂ O ₅ mg/kg	AL-K ₂ O mg/kg	AL-Na mg/kg	KCl-EDTA Mn mg/kg
Összes minta (n=206)								
3-4	35	26	0,9	0,0	213	218	15	100
4-5	56	27	1,1	0,0	195	294	17	138
5-6	32	29	1,3	0,0	289	323	29	159
6-7	27	31	1,7	0,6	388	370	28	193
>7	56	27	1,2	5,4	326	244	34	53
Ebből Alföld (n=182)*								
3-4	28	26	0,8	0,0	220	253	16	106
4-5	48	27	1,2	0,0	194	277	17	139
5-6	29	30	1,3	0,0	288	336	30	170
6-7	21	30	1,8	0,6	408	424	27	199
>7	56	27	1,2	5,4	326	244	34	53
Ebből Nyírség (n=109)								
3-4	27	26	0,8	0,0	223	251	16	100
4-5	46	26	0,9	0,0	181	258	16	134
5-6	18	26	1,0	0,0	223	253	24	147
6-7	9	26	1,2	0,3	318	394	23	146
>7	9	28	1,3	2,7	342	301	30	80
Dunántúli dombság (n=24)								
3-4	8	26	1,0	0,0	179	105	11	98
4-5	7	26	1,1	0,0	211	412	16	112
5-6	3	25	1,0	0,0	300	200	15	56
6-7	6	34	1,4	0,6	317	182	28	172
Ebből Somogy (n=22)								
3-4	8	26	1,0	0,0	179	105	11	98
4-5	7	26	1,1	0,0	211	412	16	112
5-6	3	25	1,0	0,0	300	200	15	56
6-7	4	38	1,6	0,7	421	191	30	208

*Alföld: hevesi homokhát n=16, Tápió-menti homokhát n=6, Duna-Tisza köze n=41, Tiszavidék n=8, Vadász patak mentén n=2.

A 4. táblázatban az 1991. évben végzett talajvizsgálatok eredményeit tüntettük fel. A 30 K_A alatti homoktalajok (n=74) és a 30-40 K_A közötti homokos vályog/vályogmechanikai összetételű (n=6) talajcsoport cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárással

meghatározott elemtartalmában lényeges különbség adódik. A kötöttebb, kolloidokban gazdagabb talajok átlagában a legtöbb vizsgált elem készlete 1,5-2,5-szerese a 30 K_A alatti talajokénak: Fe, Al, Mg, K, P, Mn, S, Ba, Zn, Cu, Ni, Pb, Cr, Co. A B tartalmában ugyanitt 4-szeres különbség adódik. A Ca és Sr tartalma viszont 20-30%-kal haladja meg csupán a kolloidszegény talajokét. Nincs érdemi különbség a két talajcsoport között az As és Cd elemek terén, míg az esetenkénti Cu-szennyezés miatt az átlagos Cu-készlet a K_A 30 alatti csoportban emelkedettebb.

4. táblázat Dohánytermő területek szántott rétegének elemtartalma a kötöttség és az oldhatóság függvényében (MTA TAKI vizsgálati)

Elem jele	cc. HNO ₃ +cc. H ₂ O ₂ „összes” tartalom			LE - tartalom Főátlag* (n=80)	LE - oldható az „összes” %-ában (n=80)
	Főátlag (n=80)	K _A 30 alatt (n=74)	K _A 30-40 között (n=6)		
Ca	9639	9410	12475	7090	74
Fe	6486	6096	11298	92	1-2
Al	3313	3078	6211	47	1-2
Mg	2546	2414	4176	210	8
K	868	838	1246	120	14
P	538	510	886	86	16
Mn	361	328	768	117	32
S	114	107	200	19	17
Na	50	49	67	11,9	24
Ba	27	24	62	15,5	57
Zn	23	22	38	2,6	12
Sr	22	22	27	16,8	75
Cu	20	20	14	11,0	54
Ni	10	9	24	1,0	10
Pb	10	9	15	2,4	25
Cr	6,0	5,5	12,2	0,03	<1
Co	3,6	3,3	7,5	0,76	21
As	1,5	1,6	1,3	<KH	<1
B	0,3	0,2	0,6	0,47	172
Cd	0,3	0,3	0,3	0,06	22

* NH₄-acetát+EDTA oldható (Lakenen és Erviö, 1971)

LE- oldhatósági sorrend: Ca, Sr (74-75%); Ba, Cu (54-57%); Mn (32%); Pb, Cd, Na, Co (21-25%); S, P, K, Zn (12-17%); Mg, Ni (8-10%); Fe, Al (1-2%); As, Mo (<1%); míg a B 172%, mert a savas-peroxidos roncsolásnál veszteséget szenved. A Hg, Se, Mo általában kimutatási határ (KH) alatt maradt.

Érdeklődésre tarthat számot, hogy a fenti módon meghatározott „összes” elemtartalom hogyan viszonyul az NH₄-acetát+EDTA oldató elemtartalomhoz, ill. fordítva. A 4. táblázatban feltüntettük az „oldható” tartalmak főátlagait és kifejeztük az „összes” %-ában. Az így kapott oldhatósági sorrend az alábbiak adódott: Ca és Sr 74-75%; Ba és Cu 54-57%; Mn 32%; Pb, Cd, Na és Co 21-25%; S, P, K és Zn 12-17%; Mg

és Ni 8-10%, Fe és Al 1-2%. Az As és Mo kevesebb mint 1%-át tudtuk oldható formában azonosítani. A Hg, Mo és Se mindkét módszerrel a kimutathatósági határ alatt maradt. Az átlagos B-tartalom viszont a Lakenen és Erviö módszerrel 72%-kal többnek adódott, mert a savas-peroxidos roncsolásnál a B veszteséget szenvedhet. A Ca és Sr nagy oldható részaránya elsősorban a karbonátmentes, ill. a kis CaCO₃ tartalmú talajokra jellemző.

5. táblázat Egyedi homok dohánytermőhelyek szántott rétegének „összes” elemtartalma a pH függvényében 1991-ben (MTA TAKI Vizsgálatai)

Termőhely megnevezése	pH (KCl)	cc. HNO ₃ +cc. H ₂ O ₂ oldható „összes”, mg/kg						
		Ca	Mg	K	P	Mn	Na	Zn
Ilk-Gemzse	3,5	356	1112	754	473	336	44	22
Gesztréd	4,1	787	988	1135	636	298	37	25
Nyírgyulaj	4,1	565	636	561	294	310	25	15
Kécske	4,4	584	1172	1071	497	407	48	38
Nyírkársz	4,5	1282	1394	1591	816	535	54	43
Gesztréd	5,4	1352	1421	1966	548	331	55	28
Nagykálló	6,4	2121	1602	1214	423	321	48	25
Kerekegyháza	7,3	6509	1336	556	914	173	58	66
Kúnadacs	7,9	10670	2266	380	653	134	30	15
Szabadszállás	8,1	46600	11270	551	401	176	83	13

Termőhely megnevezése	pH (KCl)	cc. HNO ₃ +cc. H ₂ O ₂ oldható „összes”, mg/kg						
		Al	S	Ba	Sr	Pb	Ni	Cu
Ilk-Gemzse	3,5	3371	61	16	5	12	10	5
Gesztréd	4,1	3380	64	24	7	8	8	6
Nyírgyulaj	4,1	2115	47	18	3	6	4	67
Kécske	4,4	3056	75	20	7	13	11	218
Nyírkársz	4,5	3815	112	61	28	13	13	36
Gesztréd	5,4	4240	110	36	9	12	12	8
Nagykálló	6,4	5566	84	43	16	12	16	8
Kerekegyháza	7,3	1395	175	13	18	8	4	222
Kúnadacs	7,9	1221	117	0	21	5	3	5
Szabadszállás	8,1	2444	61	0	67	4	6	5

Megjegyzés: Termőhelyek jellemzése táblánként 2-2 átlagmintával (n=2).

Az 1991. évi adatok szerint a 30 K_A alatti homokos termőhelyek „összes” elemkészletében is kiugró eltérések azonosíthatók. Eredményeinket a pH (KCl) függvényében az 5. táblázatban közöljük táblaszintű vizsgálatok alapján. A pH emelkedésével lényegében a Ca, Mg és Sr mutat csupán pozitív kapcsolatot. Kiugróan nagy Nyírkársz és Kerekegyháza P, Zn és Cu, valamint Nyírgyulaj és különösen Kécske Cu készlete, mely elemek már talajszennyezést tükrözhetnek. Kérdés, hogy az oldható elemtartalmak és a növényi koncentrációk mennyiben lesznek összhangban az itt bemutatott extrém dúsulásokkal? Tendencia jelleggel nyomon követhető, hogy a savanyú kilúgozott homokok feltalajában feldúsulhat a (Fe), Al és Mn a meszes táblák

talajához képest. Figyelemre méltó, hogy az erősen elsavanyodott talajban az „összes” Mg készlete meghaladja a Ca készletet. Ilk-Gemzse és Kécske esetében 2-3 szorososan. A 7 feletti pH (KCl) esetében a helyzet fordított, a Ca Mg-hoz viszonyított túlsúlya 4-5-szörössé válik. Mindez részben az alapkőzettel, döntően azonban a kilúgzási viszonyokkal függ össze.

A $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ feltárás nem képes a kristályrácsokba zárt elemeket kimutatni, ill. a talaj valódi összes készletének csak egy részét, esetenként a kisebb hányadát (pl. K, Cr, Mo stb.) jellemzi. A Ca és Mg azonban jól kimutatható e módszerrel. A Mg-sók rosszabbul oldódnak mint a Ca-sók, az erősen elsavanyodott és kilúgozott talajok feltehetően ezért Ca-ban szegényedhetnek el elsősorban. A jelenség, illetve a folyamatok mélyebb megértése további talajkémiai vizsgálatokat igényelhet.

6. táblázat Egyedi homok dohánytermőhelyek szántott rétegének oldható elemtartalma a pH függvényében 1991-ben (MTA TAKI vizsgálatai)

Termőhely megnevezése	pH (KCl)	NH ₄ -acetát+EDTA oldható, mg/kg						
		Ca	P ₂ O ₅	K ₂ O	Zn	Cu	Mn	Mg
Ilk-Gemzse	3,5	70	74	43	2,6	4,2	40	7
Gesztréd	4,1	358	138	110	1,8	0,8	49	24
Nyírgyulaj	4,1	193	65	64	0,9	22,3	48	22
Kécske	4,4	317	162	159	8,3	99,9	122	20
Nyírkársz	4,5	642	207	225	6,2	15,4	163	43
Gesztréd	5,4	783	114	413	2,2	1,8	119	122
Nagykálló	6,4	1613	60	86	1,1	1,5	76	90
Kerekegyháza	7,3	3881	848	216	27,2	144,0	78	219
Kúnadacs	7,9	8091	469	186	6,1	2,3	74	210
Szabadszállás	8,1	30860	45	62	0,5	1,2	93	517

Termőhely megnevezése	pH (KCl)	NH ₄ -acetát+EDTA oldható, mg/kg						
		Al	S	Na	Sr	Pb	Ni	Co
Ilk-Gemzse	3,5	81	11	0,1	1,9	0,2	0,1	0,4
Gesztréd	4,1	100	7	0,3	2,7	0,5	1,1	0,3
Nyírgyulaj	4,1	61	24	1,2	1,3	0,7	0,2	0,4
Kécske	4,4	48	15	1,1	2,8	1,3	0,5	0,9
Nyírkársz	4,5	73	3	2,4	12,4	1,0	1,6	1,2
Gesztréd	5,4	38	16	5,1	3,6	14	2,2	0,9
Nagykálló	6,4	40	14	3,5	8,1	1,7	2,0	0,9
Kerekegyháza	7,3	22	35	11,6	10,0	4,1	0,5	0,3
Kúnadacs	7,9	12	15	15,4	15,5	2,3	0,3	0,2
Szabadszállás	8,1	13	21	30,6	60,7	1,0	0,3	0,5

Megjegyzés: Termőhelyek jellemzése táblánként 2-2 átlagmintával (n=2).

A 6. táblázatban a homok termőhelyek oldható elemtartalma vizsgálható pH (KCl) függvényében üzemszintű/táblaszintű eredmények alapján. A pH emelkedésével itt is nő a Ca, Mg és Sr mennyisége. Egyértelműen és több nagyságrenddel ugrik meg a Na és

csaknem tizedére mérséklődik az Al tartalma az erősen elsavanyodott termőhelyhez képest. A Ca/Mg aránya közel 10-szeresé tágul a savanyú talajokon, míg a 7,3 pH (KCl) esetén ez az arány már 17, a 7,9 pH (KCl) esetén 39, ill. a 8,1 pH (KCl) esetében kereken 60. Az NH₄-acetát+EDTA módszer (amint láttuk) közel egy nagyságrenddel jobban oldja a Ca-vegyületeit a talajnak, mint a Mg-sóit.

Itt is nyomon követhető Nyírgyulaj Cu, valamint Kécske, Nyírkárász és Kerekegyháza talajának Zn és Cu szennyezettsége. Kiugró Kerekegyháza nagy oldható P-készlete, mely az üvegházi talajokét is meghaladhatja. Az is megállapítható, hogy a dohánytermő területek nagy része P-ral és K-mal igen jól ellátott kerti talaj jelleget mutat. A talajok Pb, Ni és Co nehézfémekkel nem szennyezettek, de rendkívül heterogén készlettel rendelkezhetnek. Így pl. a Co tekintetében 6-szoros, az Pb és Ni esetében pedig 20-szoros különbségek is előfordulnak az oldható tartalmakban. Az oldható S-tartalom is nagyságrendi szórást mutat és nem látszik kapcsolatban lenni a P-készlettel, tehát közvetlenül a szuperfoszfát trágyázással. A S, P, Zn és Cu tartalmú növény-védőszeres rendszeres és hosszú idejű használata is befolyásoló tényező lehet a talajszennyezés létrejöttében, ill. az extrém eltérések magyarázatánál. Említhető még a folyók által múltban lerakott hordalék szerepe.

A dohánytermesztési nagytájak és dohánybeváltó körzetek megoszlását az országban az alábbi felsorolás érzékeltetheti: a Dunántúlt mindössze egy beváltókörzet (Nagyatád) a Duna-Tisza között kettő (Kiskunhalas, Kiskunfélegyháza), D-Tiszántúlt szintén kettő (Szolnok, Jászberény), É-Magyarországot egy (Kápolna) körzet képviseli, addig K-Magyarországot öt (Vásárosnamény, Nagykálló, Nyíregyháza, Nyírbátor, Debrecen), utalva ezzel Nyírség meghatározó szerepére a dohánytermesztésben.

A 7. táblázatban az 1990-1991. évi országos dohányökológiai felmérés termés és levélvizsgálati eredményeit tüntettük fel. A csapadékosabb 1991-ben, mint az adatokból látható, nőtt az átlagos termésszint és javult a dohánylevél minősége. Utóbbiról tanúskodik, hogy felére csökkent az összes alkaloida/nikotin tartalma a levélben, ezzel együtt emelkedett a redukáló cukor, a világos ,B' minőségi válogatási osztály aránya, a beváltási ár, valamint a ha-kénti bevétel. Az egyes termőhelyeket tekintve a termés, beváltási ár és az összes alkaloida minimum és maximum értékei között 3-4-szeres, a ha-kénti bevételben 6-szoros, a világos ,B' válogatási osztály tekintetében 13-szoros, míg a redukáló cukor %-ában 20-szoros eltéréseket tapasztalhatunk.

Ami a levéltermés ásványi összetételét illeti megállapítható, hogy a kedvezőbb 1991. évben szignifikánsan mérséklődött a levelek N, Ca, Mg, Mn, Sr, Fe, Al, B, Ni tartalma, hígulási effektus nyilvánult meg. Ezzel szemben a P, Cr, és Pb felvétele nőtt feltehetően ezen elemek jobb talajbani oldhatósága nyomán. Meg kell említeni, hogy bár a vizsgálatba vont dohánytermő táblák/gazdaságok száma változott és helye is változhatott az éveket tekintve, eloszlásuk mindkét évben reprezentatív volt. Az „évhátásokat” ebből adódóan mérvadónak fogadhatjuk el. Az As, Hg, Se mindkét évben az alábbi kimutathatósági határ alatt maradt: As 0,33 mg/kg, Hg 0,24 mg/Kg, Se 0,46 mg/kg. Bizonyos termőhelyeken 0,1 mg·kg⁻¹ körüli kimutatási határ alatt maradt a Ni, Cr, Pb, Co, és Mo is (7. táblázat).

A 7. táblázat áttekintést nyújt a levéltermés ásványi elemeinek összetételéről a minimum és maximum értékeket, valamint a variációs koefficienseket is bemutatva. Az adatok arra utalnak, hogy a dohány rendkívül tág határok között akumulálhatja az egyes elemeket, plasztikus növény és extrém összetételekkel rendelkezhet.

7. táblázat Dohánytermő területek termés és levélvizsgálati eredményei 1990. és 1991. években

Mért, ill. vizsgált jellemzők	1990 (n=126)	1991 (n=80)	SzD _{5%}	1990+1991 (n=206)			
				Átlag	Min.	Max.	CV %
1. Beváltási ár eFt/t	84	104	18	92	55	193	14
2. Bevételek eFt/ha	128	182	26	146	47	296	37
3. Világos „B” osztály %	66	74	7	70	7	94	25
4. Redukáló cukor %	11	18	5,1	15	2	40	48
5. Levéltermés t/ha	1,6	1,9	0,3	1,7	0,6	3,6	37
6. Összes alkaloida %	2,3	1,1	0,5	1,7	0,4	4,3	53
7. Ca %	3,10	2,60	0,40	2,90	0,85	5,86	39
8. K %	2,15	1,89	0,32	2,05	0,91	6,21	37
9. N %	2,48	2,07	0,35	2,30	1,08	5,42	42
10. Mg %	0,46	0,24	0,16	0,38	0,10	1,69	52
11. S %	0,32	0,28	0,06	0,30	0,10	0,30	21
12. P %	0,17	0,20	0,64	0,18	0,06	0,35	24
13. Mn mg/kg	314	172	92	257	30	3437	167
14. Sr mg/kg	387	159	165	299	27	1373	86
15. Fe mg/kg	264	193	72	236	60	1704	76
16. Al mg/kg	146	114	34	133	41	570	61
17. Na mg/kg	100	109	44	103	12	1363	109
18. Ba mg/kg	38	37	12	38	12	109	46
19. Zn mg/kg	34	36	8	37	8	209	73
20. B mg/kg	27	17	6	23	7	60	43
21. Cu mg/kg	15	12	4	13	2	129	144
22. Ni mg/kg	2,73	2,09	0,38	2,47	<KH	16	104
23. Cd mg/kg	1,07	1,15	0,22	1,12	0,2	5	64
24. Cr mg/kg	0,57	1,03	0,36	0,68	<KH	21	223
25. Pb mg/kg	0,38	1,03	0,56	0,65	<KH	9	172
26. Co mg/kg	0,28	0,20	0,09	0,25	<KH	7	250
27. Mo mg/kg	0,10	0,22	0,24	0,15	<KH	1	280

Megjegyzés: A kritikus június + július havi csapadékösszeg 1990-ben 99 mm, 1991-ben 16 mm. Az As, Hg, Se mindkét évben 0,1 mg·kg⁻¹ kimutatási határ (KH) alatt. KH: Pb 0,53; Se 0,46; As 0,33; Hg 0,24; Ni 0,17, Cr 0,14; Mo és Co 0,08; Cd 0,05; mg/kg sz.a. A pH 1990-ben 5,6; 1991-ben 5,7.

A minimum és maximum tartalmak között az egyes elemeket vizsgálva az alábbi különbségek adódtak közelítően és átlagosan. A mért maximális tartalom minimumhoz viszonyított hányadosa: S esetében 3; Ca, K, P, N, B, Pb, Mo elemeknél 5-10; Al és Mg 14-17; Ca, Fe, Zn, 25-30; Sr, 51; Cu 64; Na, Mn, Ni, Cr, Co esetén pedig már a két nagyságrendet is meghaladhatja. Az utóbbi elemek CV %-a 104-280 közöttinek adódott. Az évek ismétlésül szolgáltak az SzD_{5%} értékek számításánál.

Chouteau és Fanconnier (1988) szerint a száraz dohánylevél optimális elemtartalma a következő lehet: 2,5-3,5% K; 2,0-5,0% N; 1,8-3,6% Ca; 0,3-0,8% Mg; 0,2-0,4% P és S; 50-80 mg·kg⁻¹ Mn; 20-80 mg·kg⁻¹ Zn; 20-40 mg·kg⁻¹ B; 15-21 mg·kg⁻¹ Cu. E mellett kívánatos, hogy a szennyező nehézfémek tartalma mint a Ni, Cd, Cr, Pb, Co, Mo a 0,1-

0,2 mg·kg⁻¹ alatt maradjon. A dohány tápláltsági állapotát vizsgálva 1991-1992. években Magyarországon látható, hogy egyaránt előfordultak Ca, K, N, Mg, S, P makroelemekben, valamint Mn, B, Zn, Cu mikroelemekben egyaránt kifejezetten hiányos és túlsúlyos termőhelyek. Komoly nehézfém szennyezés állhat fenn egyes üzemekben a Cu, Zn, Ni, Cd, Cr, Pb és Co elemek terén (7. táblázat).

8. táblázat Dohánytermő területek levélvizsgálati eredményei 1990. és 1991. években tájanként és a pH (KCl) függvényében (MTA TAKI vizsgálata)

PH (KCl)	Minta db	N	Ca	Ni	Cd	Cr	Pb	Co
		%		mg·kg ⁻¹ légszáraz levélben				
Összes minta (n=206)								
3-4	35	2,83	2,38	4,0	1,68	2,63	0,68	1,03
4-5	56	2,60	2,70	3,5	1,54	1,28	0,85	0,70
5-6	32	2,63	3,21	2,2	1,35	0,74	0,58	0,23
6-7	27	2,30	3,28	2,2	1,01	0,58	0,79	0,21
>7	56	2,06	3,07	0,8	0,64	0,73	0,50	0,08
Ebből Alföld (n=182)								
3-4	28	2,84	2,36	4,8	1,72	3,10	0,76	1,27
4-5	48	2,63	2,55	3,8	1,59	1,36	1,00	0,80
5-6	29	2,65	3,20	2,3	1,38	0,74	0,64	0,24
6-7	21	2,21	3,24	2,5	1,03	0,64	0,66	0,24
>7	56	2,06	3,07	0,8	0,64	0,73	0,50	0,08
Ebből Nyírség (n=109)								
3-4	27	2,86	2,33	4,8	1,74	3,20	0,79	1,30
4-5	46	2,66	2,54	3,7	1,54	1,42	1,00	0,83
5-6	18	2,64	2,80	1,9	1,37	0,93	0,62	0,28
6-7	9	1,94	2,54	3,4	1,37	1,06	0,46	0,42
>7	9	2,57	3,11	3,5	1,21	1,63	0,68	0,40
Dunántúli dombság (n=24)								
3-4	8	2,72	2,56	1,5	1,50	0,67	0,34	0,12
4-5	7	2,49	3,67	1,3	1,21	0,80	0,00	0,06
5-6	3	2,43	3,36	1,3	1,11	0,71	0,00	0,13
6-7	6	2,59	3,43	1,1	0,94	0,36	1,25	0,08
Ebből Somogy (n=22)								
3-4	8	2,72	2,56	1,5	1,50	0,67	0,34	0,12
4-5	7	2,49	3,67	1,3	1,21	0,80	0,00	0,06
5-6	3	2,43	3,36	1,3	1,11	0,71	0,00	0,13
6-7	4	2,48	3,46	0,8	0,88	0,40	1,31	0,10

Megjegyzés: beváltási ár, bevétel, világos ,B' válogatási osztály, redukáló cukor, levéltermés, összes alkaloida mutatókban egyértelmű változások nem jelentkeztek

A 8. táblázatban a N, Ca, valamint néhány nehézfém levélben mért tartalmát közöljük nagytájanként és a talaj pH függvényében. Általában megfigyelhető, hogy a pH (KCl) tartományok emelkedésével mérséklődik az átlagos N-készlet, emelkedik a Ca %-a, valamint csökken a Ni, Cd, Cr, Pb és Co levélben mért tartalma. Különösen a 7 feletti pH (KCl) tartományban, a meszes termőhelyeken esik le drasztikusan pl. a levélbe épült Ni, Cd és Co mennyisége. Meg kell említeni, hogy a levéltermés, összes alkaloida,

redukáló cukor, világos 'B' válogatási osztály, beváltási ár, ill. bevétel mutatókban ilyen egyértelmű trendek, változások nem jelentkeztek. Az elemtartalmakban megfigyelt trendek viszont meggyőzők. Bár a minták száma nem azonos az egyes pH tartományokban, de elégséges lehet a stabilabb átlag jellemzésére különösen az összes minta, ill. Alföld mintaszámait figyelembe véve. Az átlagos pH (KCl) 1990-ben 5,6 és 1991-ben 5,7 volt, közelálló, szignifikánsan nem tért el.

9. táblázat Dohánytermő területek levélvizsgálati eredményei 1990. és 1991. években tájanként és a pH (KCl) függvényében (MTA TAKI vizsgálatai)

pH (KCl)	Minta db	Mn	Sr	Fe	Al	Na	Ba	Zn
		mg·kg ⁻¹ légszáraz levélben						
Összes minta (n=206)								
3-4	35	635	318	260	158	80	40	52
4-5	56	562	402	243	147	91	39	43
5-6	32	231	327	220	130	98	44	31
6-7	27	168	196	220	129	100	47	30
>7	56	143	219	228	109	134	27	28
Ebből Alföld (n=182)								
3-4	28	701	352	278	168	79	36	57
4-5	48	595	376	246	147	81	38	45
5-6	29	229	320	215	127	94	44	30
6-7	21	195	224	237	143	100	49	31
>7	56	143	219	228	109	134	27	28
Ebből Nyírség (n=109)								
3-4	27	719	344	282	171	79	36	58
4-5	46	618	390	249	148	81	38	45
5-6	18	284	336	180	104	82	42	34
6-7	9	315	288	262	167	73	47	39
>7	9	467	578	225	119	91	33	49
Dunántúli dombság (n=24)								
3-4	8	352	228	183	115	84	52	33
4-5	7	384	554	240	156	160	43	29
5-6	3	252	392	274	164	133	40	32
6-7	6	74	99	158	80	97	41	27
Ebből Somogy (n=22)								
3-4	8	352	228	183	115	84	52	33
4-5	4	384	554	240	156	160	44	29
5-6	3	252	392	274	164	133	40	32
6-7	4	70	83	136	73	98	37	29

A pH (KCl) emelkedése egyéb levélben mért elemek beépülését is befolyásolta. A Mn-tartalom az Alföldön pl. 1/5-ére zuhan a meszes termőhelyek átlagában az erősen savanyú termőhelyekhez képest. Nyírségben a semleges körüli és meszes talajok száma erősen lecsökken, a kevés számú dunántúli termőhely sem teszi lehetővé a megbízható trendek nyomonkövetését. Az összes minta, ill. az Alföld mintaanyaga alapján a trendek azonban arra utalnak, hogy enyhén mérséklődhet a Fe és Al, valamint kifejezettebben a Zn felvétele, míg a Na-tartalom nőhet a pH-val a 9. táblázat eredményei szerint.

10. táblázat Egyedi homok dohánytermőhelyek levélvizsgálati eredményei a pH függvényében 1991-ben.

Termőhely megnevezése	pH (KCl)	Red. cukor %	Összes N %	Alkaloida %	Ca %	K %	Mg %	S %
Ilk-Gemzse	3,5	19	2,73	0,98	3,46	2,55	0,33	0,37
Gesztréd	4,1	16	1,97	0,91	2,14	1,71	0,15	0,21
Nyírgyulaj	4,1	23	1,89	1,25	1,44	1,17	0,05	0,21
Kécske	4,4	10	2,43	1,64	2,17	2,40	0,19	0,55
Nyírkársz	4,5	18	2,04	0,70	2,46	1,88	0,24	0,32
Gesztréd	5,4	16	2,15	1,28	2,98	2,09	0,20	0,36
Nagykálló	6,4	18	2,00	0,94	2,31	1,94	0,29	0,23
Kerekegyháza	7,3	13	1,41	0,94	2,90	1,49	0,16	0,22
Kúnadacs	7,9	20	1,46	1,91	2,51	2,01	0,33	0,39
Szabadszállás	8,1	15	1,61	2,07	2,94	1,37	0,20	0,29
Termőhely megnevezése	pH (KCl)	Mn	Sr	Fe	Al	Na	Ba	Zn
		mg/kg						
Ilk-Gemzse	3,5	274	252	699	377	129	109	29
Gesztréd	4,1	291	152	380	200	91	50	14
Nyírgyulaj	4,1	249	180	196	110	40	39	82
Kécske	4,4	473	247	182	108	110	35	54
Nyírkársz	4,5	151	203	189	103	86	42	16
Gesztréd	5,4	127	206	477	235	91	46	30
Nagykálló	6,4	521	191	485	261	97	69	14
Kerekegyháza	7,3	52	63	154	129	809	19	41
Kúnadacs	7,9	40	108	126	71	104	19	23
Szabadszállás	8,1	108	84	172	95	120	20	22
Termőhely megnevezése	pH (KCl)	P %	Cu	Ni	Cd	Cr	Pb	Co
			mg/kg					
Ilk-Gemzse	3,5	0,18	32	7,0	2,48	3,11	2,28	0,44
Gesztréd	4,1	0,19	4	5,5	1,05	1,58	1,54	0,42
Nyírgyulaj	4,1	0,15	14	1,8	1,53	0,35	4,87	0,01
Kécske	4,4	0,17	4	1,8	1,42	0,50	3,04	0,34
Nyírkársz	4,5	0,15	12	4,7	2,79	0,41	1,18	0,00
Gesztréd	5,4	0,24	5	2,8	1,26	3,13	2,89	0,31
Nagykálló	6,4	0,16	5	9,70	2,49	1,61	1,84	0,91
Kerekegyháza	7,3	0,23	15	0,08	0,24	0,74	0,00	0,16
Kúnadacs	7,9	0,19	16	<KH	0,22	0,18	<KH	<KH
Szabadszállás	8,1	0,20	3	<KH	0,36	0,29	<KH	<KH

Megjegyzés: Termőhelyek jellemzése 2-2 db átlagminta analízisével (n=2).

Végül a bizonyos tekintetben közelálló vagy egynemű homok termőhelyeket, táblasoros levél-vizsgálati adatokat mutatunk be a pH (KCl) függvényében a 10. táblázatban. Látható, hogy a redukáló cukor, alkaloida, összes N, Ca, K, Mg, P és S %-ok egyértelmű és meggyőző változást nem jeleznek. Csökkenő trendet tükröz a Mn, Sr, Fe, Al, Ba levélbeni mennyisége a meszes termőhelyek felé haladva. Végül egy nagyságrendi változást okoz a pH emelkedése a Cd, Cr, Co, Ni és Pb elemek felvételében.

Meszes talajokon fejlődött dohányok levelében a Co, Ni és Pb nehézfémek már a kimutatási határ alatt voltak. Környezet- és humán-egészségügyi szempontból is szükségessé válhat tehát és javasolható az erősen savanyú termőhelyek, táblák meszezése.

Nem a talaj pH függvényében, némely dohánytermő talaj vagy tábla Zn és Cu szennyezettsége nyomon-követhető. Így pl. a dohánylevél emelkedett Zn-tartalmat mutat különösen Nyírgyulaj, Kécske, Kerekegyháza, míg a Cu tartalom kiugró Ilk-Gemzse, Nyírgyulaj, Nyírkárász, Kerekegyháza, Kunadacs termőhelyeken. Az említett termőhelyek Cu és Zn szennyezettségét részben az NH₄-acetát+EDTA oldható talajvizsgálati eredmények is jelezték. Összességében azonban általában nem találtunk korrelációt a növényi elemtartalom és a talajvizsgálati adatok között. Sem az „összes”, sem a NH₄-acetát+EDTA oldható elemkészlet nem mutatott pl. szignifikáns kapcsolatot a levélben mért elemtartalommal. A talajvizsgálati határértékeket ezért elsősorban a pH függvényében kell megállapítani a Fe, Mn, Al, Sr, Ba, ill. különösen a Zn, Cd, Cr, Co, Ni, Pb nehézfémek/szennyezők esetében.

Összefoglalás

Az 1990. és 1991. évi dohányökológiai felmérésbe összesen 206 táblát, illetve parcellát vontunk be, amelyeken Virginia típusú dohányt termesztettek. A gazdaságok véletlenszerűen lettek kiválasztva és eloszlásuk arányos volt a Virginia dohány termőterületével régióként és országosan is. Talajmintákat a műtrágyázás/kiültetés előtt vettük a szántott rétegből. A táblánként vett 2-2 átlagminta minimum 10-10 pontminta összekeveredéséből készült. A levélmintákat a „B” válogatási osztály képviselte. Az átlagmintákat a beváltóüzemi szakember vette értékesítéskor, a légszáraz levéltermés megállapításakor. Talajminták alapvizsgálatát a Debreceni NTÁ végezte, majd az MTA TAKI határozta meg a cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárásából az „összes”, valamint az NH₄-acetát+EDTA oldható elemtartalmakat ICP technikát alkalmazva. A levélminták N és ipari minőségvizsgálata a szokásos módszerekkel (Módszerkönyv) a Dohánykutató Intézetben, míg az ásványi összetételt a cc.HNO₃+cc.H₂O₂ roncsolást követően az MTA TAKI laboratóriuma állapította meg szintén ICP technika segítségével. Főbb megállapítások:

A dohánytermő talajok tulajdonságai rendkívüli mértékben és széles sávban változtak (pH, CaCO₃, humusz, kötöttség, makro- és mikroelemtartalom). A homok termőhelyek aránya 91%-ot tett ki, 63% savanyú, illetve 28% meszes termőhellyel.

A pH (KCl) emelkedésével a 6-7 pH tartományig nőtt a talajok kötöttsége, humusz és oldható P, K, Mn tartalma. A meszes tartományban e mutatók visszaestek. A kötött talajok „összes” elemkészlete is nagyobb általában, kivételt a Cu, Zn, Cd, As képezhet. A homok termőhelyek egy része Cu és Zn elem dúsulást/szennyezést mutatott.

A cc.HNO₃+cc.H₂O₂ feltárásából meghatározott „összes” elemkészletből a Ca és Sr 74-75%-a; Ba és Cu 54-57%-a, Mn 32%-a; Pb, Cd, Na, Co 21-25%-a; S, P, K, Zn 12-17%-a, Mg és Ni 8-10%-a; Fe és Al 1-2%-a; As és Mo <1%-a volt kimutatható NH₄-acetát+EDTA módszerrel. Az átlagos B-tartalom oldható készlete meghaladta az „összes” tartalmat, a savas-peroxidos roncsolásnál a B veszteséget szenvedhetett.

Erősen kilúgozott savanyú talajokban az „összes” Mg-tartalom 2-3-szorosan haladta meg a Ca-tartalmat, míg meszes termőhelyeken az a tendencia megfordult. A

savanyú talajaink elsősorban a kilúgozásnak kevésbé ellenálló Ca-ban szegényednek. Az oldható Ca mennyisége ezzel szemben már erősen savanyú talajban is 10-szerese az oldható Mg-nak, míg a meszes termőhelyeken 40-60-szorosára ugrik. Az NH₄-acetát+EDTA módszer tehát közel egy nagyságrenddel jobban oldhatja a talaj Ca-vegyületeit, mint a Mg sóit.

A dohánytermő talajok nagyobb része oldható P-ral és K-mal igen jól ellátott kerti talaj jelleget mutatott. A nehézfémek közül Pb, Ni, Co elemekkel nem szennyezettek, de heterogének. A Co 6-szoros, az Pb és Ni 20-szoros eltéréseket jelzett az oldható elemkészletben. A P, S, Cu és Zn elemtartalmak dúsulására a növényvédőszeres rendszeres és hosszúidejű használatával okozott talajszennyezés is magyarázatul szolgálhat. A Cu és Zn szennyeződést a levélminták is tükrözték.

A kedvező csapadékosabb évben nőtt a levéltermés és javult a minősége. Az ásványi összetételt tekintve a P, Cr és Pb kivételével általában a legtöbb vizsgált elem tartalma mérséklődött. A talaj – pH emelkedésével csökkent a levél Mn, Sr, Fe, Al, Ba, Zn tartalma, különösen pedig a Cd, Cr, Co, Ni, Pb nehézfémek beépülése. Az erősen savanyú talajok meszezése humán-egészségügyi szempontból is ajánlható.

A talajvizsgálati adatok és a növényi összetétel, az extrém Zn és Cu szennyezéstől eltekintve, nem mutatott szignifikáns kapcsolatot. A talajvizsgálati határértékeket elsősorban a növényi felvételt meghatározó pH függvényében kell megállapítani a Zn, Cd, Cr, Co, Ni, Pb nehézfém szennyezőkre. Az Pb és Cr beépülése a csapadék mennyiségével is pozitív összefüggést jelzett.

Irodalom

- Baranyai F. – Fekete A. – Kovács I. (1987): A magyarországi talajtápanyag vizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 130-185.
- Becker – Dillingen, J. (1934): Handbuch der Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Paul Parey Verlag. Berlin.
- Bell, P.F. – Adamu, C. A. – Mulchi, C.L. – McIntosh, M. – Chaney, R.L. (1988): Residual effects of land applied municipal sludge on tobacco. I. Effects on heavy metal concentrations in soils and plants. Tobacco Sci. 32:33-38.
- Borsos J. (Szerk.: 1976): A dohány nagyüzemi termesztése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Chouteau, J. – Fauconnier, D. (1988): Fertilizing for high quality and yield. Tobacco. IPI. Bulletin N° 11. Bern, Switzerland.
- Cogbill, E. C. – Hobbs, M.E. (1957): Transfer of metallic constituents of cigarettes to the main – stream smoke. Tobacco Sci. 1:68-73.
- Cserhádi S. (1900): Általános és különleges növénytermelés. Czeh Sándor – féle Könyvnyomda. Magyar – Óvár.
- Ditz, H. (1867): A magyar mezőgazdaság. Szerk.: Kádár I. MTA TAKI. Budapest, 1993.
- Gething, P. A. (1990): Potash Facts. Intern. Potash Inst. Bern, Switzerland.
- Gondola I. (1988): Az ökológiai tényezők és a genotípus szerepe a Virginia dohányok NPK tartalmának változékonyságában. Növénytermelés. 37: 409-419.
- Gondola I. (1989): Összefüggés a Virginia dohányok hozamam és minőségi jellemzői között a N-műtrágyázás függvényében. Növénytermelés. 38:241-251.
- Gondola I. (1990): Szárazanyag-felhalmozás és tápelem-dinamikai vizsgálatok Virginia típusú dohánynövényen. Agrokémia és Talajtan. 39: 48-58.
- Gondola I. – Kádár I. (1994-95): Heavy metal content of flue-cured tobacco leaf indifferent growing regions of Hungary. Acta Agron. Hung. 43:243-251.
- Kádár I. – Szemes I. (1994): A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest.

- Kádár I. (2006): A dohány ásványi táplálása. Növénytermelés. (Megjelenés alatt). 55:
- Lakanen, E. – Erviö, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. *Acta Agr. Fenn.* 123:223-232.
- MÉM NAK (1978): Talajmintavételi módszer a talaj-tápanyagtartalom vizsgálatához. MÉM Növényvédelmi és agrokémiai Központ. Budapest. 43 p.
- Módszerkönyv (1968): A dohánykutató és Fejlesztő Intézet laboratóriumi módszereinek leírása. Dohánykutató és Fejlesztő Intézet. Debrecen. 74 p.
- Prjanisnyikov, D. N. (1965): *Izbrannüe Szocsinenija. Tom II. Csaosztnoe Zemledelie.* Izd. „Kolosz”. Moszkva.
- Usherwood, N. R. (1985): The role of K in crop quality. In.: *Potassium in agriculture.* Ed.: Munson, R. D. 489-513. ASA, CSSA, SSA Publ. Madison, Wisc.

Az angliai Rothamsted tartamkísérleteinek tanulságairól

A Rothamsted-i iskola jellemzője, Lawes és Gilbert alapítók nyomdokain haladva, a precíz, ellenőrzött kísérleti tényekhez való ragaszkodás. A kísérletek immár 150 éves múltra tekintenek vissza, melyek adataira támaszkodva formálódnak a nézetek és készülnek a szaktanácsadási javaslatok a gyakorlat számára.

Talán nem lesz haszontalan áttekintést adni azokról a főbb eredményekről és véleményekről, amelyek napjaink magyar szakköreit is foglalkoztatják. Különösen szerény tapasztalatokkal rendelkezünk a trágyázás környezetvédelmi aspektusait illetően. E téren fennálló bizonytalanságainkat csökkentheti az előttünk járó, kiérleltebb angol tapasztalat kritikus átvétele. Az alábbiakban főként Cooke (1971, 1973, 1976, 1981, 1984) áttekintő munkáira támaszkodunk, akinek munkássága e kutatások mintegy fél évszázadát fémjelzte.

Mi történik a talajba vitt műtrágyákkal és mennyiben talajszennyezőek?

A műtrágyák ugyanazon főbb tápionokat tartalmazzák (nitrát, foszfát, szulfát anionok, valamint kálium, kalcium, ammónium, magnézium stb. kationok), melyek a természetes talajban is megtalálhatók. A műtrágyák megnövelik a talaj iontartalmát abból a célból, hogy kielégítő terméseket kapjunk. A túltrágyázás azonban pocsékoláson túl szennyezést is jelenthet. A N- fölöslege könnyen kimosódik, míg a foszfor és kálium a legtöbb talajban felhalmozódik és a soron következő kultúra számára hasznosulhat. A Ca és Mg szintén könnyen távozhat, pótlásuk rendszeressé válik a savanyú homokokon.

Az esszenciális mikroelemek közül főként a Zn, Cu, B, Mo adagolása veszélyeztetheti a talaj termékenységét, míg angliai viszonyok között a Fe és Mn illetően negatív hatása kevésbé jelentkezett. A mikroelem trágyákat indokolatlanul nem szabad alkalmazni, tehát rutinszerűen és vakon „csodakeverékeket” felhasználni felesleges a gazdáknak. Hasonló beavatkozásokra csak a talaj- és növényelemzéseket, kísérleti próbákat követően kerüljön sor. A fentiekből adódóan a szennyvíziszapok és ipari hulladékok trágyaszerként történő felhasználása is előzetes ellenőrzést igényel. A növényvédő szerek rendszeres alkalmazásával is felhalmozódhatnak nehézfémek a talajban (Zn, Cu stb.), melyek a talajéletre negatív hatást gyakorolhatnak.

A műtrágyák egyszerű vagy komplex sóknak tekinthetők, melyekben szükséges és nem, vagy kevésbé szükséges ionok fordulnak elő. Bizonyos talajokon egyes növényfajok meghálálják pl. a Na-, Cl-, SO₄-trágyákat. Másutt ezek nemkívánatos összetevői a műtrágyáknak és talajszennyezőknek minősülhetnek. Azonban a csapadékkal is hasonló nagyságrendben jutnak az angol talajokba. A Na, Cl, S terhelés elérheti a 17-40 kg·ha⁻¹·év⁻¹

mennyiséget, mely megközelíti a műtrágyákkal bevitt értékeket (*1. táblázat*).

A mobilis ionok fölöslegét a kilúgzó víz szállítja el alapvetően a talajokból, amennyiben a csapadék mennyisége meghaladja a párolgást és a vízfölösleg áthalad a talajprofilon. A *2. táblázat* kétéves eredményeket mutat be. A vizsgálati helyeken az éves csapadék 620 mm körüli és intenzíven műtrágyázott szántóföldi növénytermesztés folyik. Az evaporáció azonban nem haladja meg az évi 500 mm-t. Amint az adatokból látható, a kilúgzó víz nagymennyiségű Ca-, Cl- és SO₄-iont visz magával. Mivel a víz pH értéke 7 körüli, a negatív töltésű ionokat (és a bikarbonátot) a Ca-, Na- és K-kationok kísérik.

1. táblázat: A csapadék átlagos összetétele és tápelem hozama 1969-1973. Között három kísérleti helyen Angliában

Elem jele	Rothamsted	Saxmundham	Woburn	Átlagos hozam kg/ha/év
	mg/liter			
SO ₄ -S3,3		3,3	2,6	19
NH ₄ -N1,7		1,8	1,2	10
NO ₃ -N1,1		1,2	0,9	7
PO ₄ -P0.13		0.02	0.03	0,3
Cl5,9		8,8	4,6	39
Na1,9		4,4	1,6	17
Ca1,8		1,6	1,5	12
Mg0,41		0,67	0,30	9
K0,72		0,55	0,39	3

Rothamsted: agyagos vályog (London mellett); Saxmundham: homokos vályog (Délkeleti parton); Woburn: homokos vályog, podzol (Londontól északra 70 km-re)

2. táblázat: Drenázs vizek összetétele különböző termőhelyeken 1968-1974. között (mg/l)

Elem Jele	Saxmundham. 1973-1974.		Saxmundham	Woburn
	Szántó	Gyep	1968-1970. között	
SO ₄ -S	81	54	60	49
NH ₄ -N	22	4	12	22
NO ₃ -N	0.6	0.6	0.12	0.06
PO ₄ -P	0.02	0.01	0.02	0.01
Ca	215	108	171	156
Cl	137	35	44	26
Na	22	22	20	14
Mg	9	7	9	9
K	1.2	0.9	1.4	2.0

Üvegházi öntözéses termesztésben az elemforgalom általában nagyobb, mint szántóföldön. A tápanyagokat, műtrágyákat túladagolják és így a sóterhelés, valamint a sókilúgzás is kifejezettebb. Egy angol kísérletben minden 100 000 liter/ha (10 mm körüli) vízmennyiség 7-10 kg N, 6-7 kg K, 33-38 kg Ca és 4-6 kg Mg-vesztéséget okozott hektárra számítva. A vegetációs időszak alatt pl. kg·ha⁻¹ N-vesztés jelentkezett, míg 3 év alatt összesen 569 kg N, 1911 kg Ca és 201 kg Mg mosódott ki a talajból hektáronként. A trágyák hatékonyságának növelésére itt különösen nagy tartalékokkal rendelkezünk.

Amikor a mozgékony anionok feleslegének kilúgzása jelentős a talajban, nő a kationok vesztesége, mint láttuk főleg a Ca-ionoké. A talajok egy része Ca-ban elszegényedhet és elsavanyodhat. Különösen az ammónium-szulfát savanyíthat erősen, mert a képződő NO₃ mellett az SO₄ is megjelenik. A KCl és a K₂SO₄-sók Cl- és SO₄-ionjai hasonlóképpen viselkednek.

A kilúgzás mértéke függ az átszivárgó víz mennyiségétől és összetételétől. Olyan évben például, amikor a csapadék feleslege a párolgást 200 mm-rel haladja meg és ez a felesleg átszivárog a talajon, a víz összetétele pedig az *2. táblázatban* közölteknek felel meg, a számított veszteség az alábbi mennyiségeket jelentheti kg/ha-ban:

	Saxmundham	Woburn
Ca	340	310
SO ₄ -S	120	98
Cl	88	52
Na	40	28
NO ₃ -N	24	44
Mg	17	18
K	3	4
P	0.04	0.02

Az országos tápelemforgalom és tanulságai Angliában

A *3. táblázat* áttekintést nyújt az Egyesült Királyság NPK mérlegéről. A szerző megbecsülte a felső 20 cm talajréteg összes tápelemkészletét, a növényben, műtrágyákban, import takarmányokban és az állati ürülékben foglalt NPK mennyiségét. Amint a táblázatokból kitűnik, a tápanyag-források N- és P-tartalma lényegesen meghaladta 1973-ban a növényi felvételt (a foszfor mintegy kétszeresen), viszont a K mérlege jelentős negatívummal zárult. A szerző nem tér ki a talajba részben szintén visszakerülő melléktermékekre. Ezek figyelembevételével természetesen a K mérlege is pozitívvá válik.

3. táblázat: Az Egyesült Királyság NPK-forgalma 1973-ban (1000 tonnában és elemekben kifejezve)

Mérleg tételei és a talaj készlete	N	P	K
A talaj 20 cm-es rétegében	100.000	35.000	450.000
Növényben	1.500	230	1.300
Műtrágyákban	930	210	345
Import takarmányokban	200	60	60
Állati ürülékben	840	198	690
Összes tápelemforrásban	1.970	468	1.095
Egyenleg (Adott – felvett)	+420	+238	-205

A műtrágyázás kezdetei, azaz 1837 óta felhasznált összes NPK mennyiségét a *4. táblázat* foglalja össze. A 130 év (napjainkig 150 év) alatt felhasznált P nagyobb része a talajtan akkumulálódott és becslések szerint a szántók talajának összes P készlete a felső rétegben mintegy 50 %-kal emelkedett. Az összes K mennyisége a mérleg egyenlegei szerint nem változhatott érdemben, így ezen elem talajszennyezőként nem jelentkezik. Az összes N megítélése eltérő megközelítést igényel, mert főként a talaj szerves anyagához kötődik. Elsősorban a talaj mozgékony NO₃-N frakcióit, valamint a N-műtrágyák talajsavanyító hatását kell figyelemmel kísérnünk. Általánosan elfogadott

vélemények szerint a trágyaként felhasznált összes N-tartalomnak mintegy fele hasznosulhat a növényi felvétellel, a maradék döntően a kilúgzás és a denitrifikáció során veszendőbe megy.

4. táblázat: Műtrágyákkal talajba juttatott NPK kumulatív mennyisége 1837-1972.között Angliában, millió t

Elem	1837-1939.	1940-1957.	1958-1972.	1837-1972.
N	3.5	3.5	9.1	16.1
P	4.9	2.7	3.0	10.6
K	1.2	2.6	5.3	9.1

A Rothamsted-i „Klasszikus Kísérletek”

A Rothamsted-i Kísérleti Állomás London mellett létesült 1843-ban Lawes birtokán. A kísérleti munkák irányítását Liebig egyik tanítványa, Gilbert végezte. Az 1843-1856. között beállított kilenc szabadföldi tartamkísérletből nyolc többé-kevésbé változatlan formában ma is fennáll „Rothamsted Classical Experiments” néven. Az ammónium sók talajra gyakorolt hatását a Broadbalk kísérletben vizsgálják a legrégebben. Az enyhén meszes, homokos vályog termőhelyen 1843 óta folyik rendszeresen ammónszulfát-trágyázás 0-144 kg N ha⁻¹ adaggal.

A becslések szerint a maximális adagú kezelésben 900-1100 kg·ha⁻¹ CaCO₃-vesztés állhat elő évenként. Az első 100 év után (1944-ben) a feltalaj hatalmas CaCO₃-készlete eltűnt, a parcellák helyenként elsavanyodtak és meszeztést igényeltek. A talajvizsgálatok eredményeiről az 5. táblázat adatai nyújtanak információt. Hasonló jelenséget figyeltek meg a Woburn kísérletben, ahol az ammonsulfát-kezelést 1888-ban iktatták be, szintén homokos vályog talajon. A talaj 1920-ig oly mértékben elsavanyodott, hogy a búza és az árpa termesztése bizonytalanná vált. Miután meszezéssel és Mg-trágyázással helyreállították a talaj termékenységét, az említett növények újra sikerrel termeszthetők.

5. táblázat: A Rothamsted-i Broadbalk kísérlet talajvizsgálati eredményei a száz évét meghaladó trágyázást követően

Kezelés évente	N kg/ha/év	CaCO ₃ %	Összes N %	Összes C %	Összes-P, Olsen-P, Kics.-K mg/kg		
					Összes-P	Olsen-P	Kics.-K
Ist.trágya	0	2.0	0.236	2.58	1214	97	652
Ø	0	2.4	0.106	1.09	580	8	102
PK-Na-Mg	0	1.7	0.105	1.00	1084	80	364
PK-Na-Mg	48	1.2	0.112	1.07	1079	88	368
PK-Na-Mg	96	0.8	0.121	1.19	1052	88	341
PK-Na-Mg	144	0.5	0.123	1.19	1119	81	295

Istállótrágya = 35 t/ha; P=73 kg P₂O₅ ha⁻¹ (szuperfoszfát); K=110 kg K₂O ha⁻¹ (K-szulfát); Na=16 kg Na ha⁻¹ (Na-szulfát); Mg=11 kg Mg ha⁻¹ (Mg-szulfát); N=0-144 kg N ha⁻¹ / (NH₄)₂SO₄/

Az 5. táblázat adataiból az is kiténik, hogy a N-trágyázás jelentéktelen hatást gyakorolt az összes N és C %-ára a feltalajban. A legnagyobb adagú N-kezelésekben mindössze 1/8-dal található több C, mint a kontrollon. Broadbalkon elemre átszámítva

34 kg P és 90 kg K volt az évi trágyaadag ha-onként 1843 óta. Ez a műtrágyában adott PK „terhelés” nem járt negatív következményekkel a talajra, elsavanyodás nem következett be. Ezzel szemben mind az összes, mind az oldható P, valamint a kicserélhető K mennyisége megnőtt. A kezelt parcellák talajai ma igen jól ellátottak felvehető P-ban, ill. jól ellátottak K-ban. A PK-ellátottság meghaladja a kívánatos elérendő szintet a kalászosokra, de ez a túlkínálat semmilyen káros hatást nem okoz a növényekre.

A Rothamsted-i tartamkísérletek adataiból szintén megállapítható, hogy a PK döntően a feltalajban halmozódik fel. Kevés tápelem jut a mélyebb rétegekbe. A vertikális transzport, a P-kilúgzás megnőhet azonban, amennyiben szerves trágyák formájában juttatjuk ki azokat; a talaj szervesanyag-tartalma magas (gyepek alatt); vagy rendszeresen nagy adagú trágyázással a talaj P-adszorpciós kapacitása telítődik. Az eddigi vizsgálatok szerint a P-akkumuláció mintegy 0.4 m mélységig volt bizonyíthatóan kimutatható szántón, ill. 0.5 m mélységet meghaladóan gyepeken. Úgy tűnik tehát, hogy érdemi P-kilúgzással nem kell számolnunk. A P-terhelés hozzájárul azonban az élővizek eutrofizációjához, ezért a P-kilúgzás jelenségét részletesebben kell vizsgálnunk.

A rendszeresen trágyázott, művelt területek drenázs vizeiben általában 0.02-0.05 mg P/l koncentrációkat mérünk. A talajoldat P-tartalma 0.1 mg/l alatti, ritkán haladja meg az 1 mg/l értéket. A holland adatok szerint, jegyzi meg Cooke, az évi P-kilúgzás mezőgazdaságilag hasznosított területeken 0.25 kg P ha⁻¹ mennyiségre tehető. Kalifornia és USA más részeiben az öntözött rizs talajokon 0.53 kg körüli P ha⁻¹ terhelést regisztráltak. Anglia is rendelkezik hasonló mérési eredményekkel. Ez a kilúgzási veszteség a P-forgalomhoz viszonyítva elenyészőnek tűnik, de hosszú időn át jelentőssé válhat mind a vizek tápanyag-dúsulása, mind a természetes talajok elszegényedése tekintetében.

Az összes P kis része jelenik meg a talajoldatban, ebből adódóan a kilúgzás is kicsi. Amennyiben pl. 0.2 mg/l a talajoldat P-koncentrációja és az átszivárgó víz mennyisége 510 mm, 1 kg P ha⁻¹ körüli veszteség állhat elő. Amennyiben a teljes átszivárgó vízmennyiség egyensúlyban volt a talajjal. Ez a gyakorlatban nehezen elképzelhető. Másrészt hasonló 0.2 ppm körüli P-koncentráció a természetes folyóvizekben előfordult a műtrágyázás előtti időben is, a talajképző (ill. tófenék) kőzettől függően. A műtrágya-P kölcsönhatásba lép a talajjal és kicsapódik főként Ca-foszfátok formájában a meszes és semleges talajokon. Savanyú talajokon a vas és alumínium jelent kémiai védelmet a P-kilúgzással szemben. Cooke szerint a sajtó túlhangsúlyozza a műtrágyák környezetkárosító szerepét, különösen a P esetén indokolatlanul.

A kötöttebb talajú Rothamsted-i Park Grass gyepkísérlet 6. táblázatban bemutatott tanulsága szerint ugyan a 110 év óta rendszeresen adott évi 33 kg·ha⁻¹ elemi P hatására a talajszelvény 38 cm mélységig feldúsult összes P-ban, de a 0.01 M CaCl₂-oldható frakció (mely közelálló a talajoldat P-koncentrációjához) csupán a közvetlen altalajig jutott. A másik Rothamsted-i tartamkísérletben főleg gyökérnövényeket termesztettek (Barnfield Experiment) több mint egy évszázadon át. A feltalaj összes P-készletét a 7. táblázat tünteti fel. A táblázat adataiból arra következtethetünk, hogy még a szokatlanul nagymennyiségű istállótrágya + műtrágya együttes adagolása nyomán sem nőtt érdemben a talaj összes P-készlete a 0.5 m mélységet meghaladóan. Enyhe bemosódás azonban tapasztalható ebben a kezelésben.

A laza homokos vályog Woburn kísérletben ezzel szemben a 20 éven át adott istállótrágya (hasonló extrém adagokkal) a talajt 0.6 m mélységig gazdagította P és K elemekben. Az istállótrágyázás $150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ P mennyiségnek felelt meg és megduplázta a 0.5-0.6 m talajszelvény felvehető P-készletét. Ilyen mérvű istállótrágyázás, ill. P-terhelés szántóföldön ugyan elképzelhetetlen, de kertészetben nem kizárt.

Más termőhelyen (Wareham, savanyú homoktalaj) 15 éven át műtrágyáztak 90 kg P/ha/év adaggal, különböző oldhatóságú P-formákat alkalmazva. A vízdoldható műtrágya-P 0.5 m mélységbe, az agyagos akkumulációs szintig jutott le. A bázikus salakok és a nyersfoszfát nem növelte a kilúgzást a kontrollhoz képest. Ilyen talajokon tehát felléphet a P-kilúgzás, amennyiben vízdoldható formában rendszeresen nagyobb adagokkal trágyázunk.

6. táblázat: A Rothamsted-i Park Grass gyepkísérlet összes és oldható P-tartalmának változása a talajszelvényben 100 évet meghaladó trágyázás után

Mélység mm-ben	Trágyázatlan kontroll		33 kg/ha/év P-trágyázás	
	Meszezetlen	Meszezett	Meszezetlen	Meszezett
	mg/kg összes-P			
0 – 225	490	570	1360	1230
225 – 300	450	600	910	770
300 – 375	410	480	870	690
375 – 450	390	450	540	580
	mg/l 0.01 M CaCl_2 -oldható P			
0 – 225	0.4-5.2	1.8	4.7-15.0	31.0
225 – 300	0.2	0.3	1.6	0.6
300 – 375	0.1	0.2	0.6	0.2
375 – 450	0.3	0.1	0.2	0.3

7. táblázat: A Rothamsted-i kísérlet összes-P tartalmának alakulása a talajszelvényben 100 évet meghaladó trágyázás után, mg/kg

Mélység Mm	Trágyázatlan kontroll	(A) 33 kg P/ha/év	(B) 35 t/ha/év istállótrágya	A+B
0 – 225	669	1206	1263	1877
225 – 300	453	506	600	753
300 – 375	425	475	498	592
375 – 450	412	400	428	474

Műtrágyák és a talajok termékenységének összefüggése

Egyes vélemények szerint a műtrágyák veszélyeztetik a talajok termékenységét. A termékenységet alapvetően maga a termés jellemzi, nem pedig elvont ítéletek. Lássuk a Rothamsted-i kísérleteket. A Broadbalk kísérletben 130 éven át folyik rendszeres műtrágyázás. A többi kísérlethez hasonlóan a termések nem csökkennek. A 8. táblázat adatai tanúsítják, hogy a műtrágyázás nemhogy csökkentené a növények termését, hanem növeli.

A korábban említett homokos vályog Woburn kísérletben a talaj elsavanyodott és a kalászosok termése visszaesett, főként növény-egészségügyi (gyökérvérvetők) okokból. Meszezéssel és Mg-trágyázással a termékenység helyreállt és a kalászosok termése tovább nőtt. A műtrágyázás nem felelős a terméscsökkenésért, amennyiben nem egyoldalúan alkalmazzuk a trágyákat, ill. esetleges savanyító hatásukat ellensúlyozzuk. A N-túladagolás is példa lehet az egyoldalú alkalmazásra, amikor megdőléshez vezethet a kalászosoknál, esetleg más elemek relatív hiányát indukálva okozhat depressziót a termésben.

Másrésről igazi egyensúlyt nehéz megteremteni és fenntartani a növénytáplálásban, hiszen az időjárást nem ismerjük előre. Utóbbi befolyásolja a növények elemfelvételt és a trágyahatásokat. Bizonyos fokig tudomásul kell vennünk, hogy a nagy termések N-túladagolás nélkül nehezen elérhetők. A nagy termés tápanyagbőséget igényel a talajban. A N kimosódik, míg a PK-felesleg felhalmozódik. A P és K mérsékelt túlsúlya a brit talajokon azonban nem jelentett negatív befolyást sem a termésre, sem a minőségre.

8. táblázat: A búza (szem) és a burgonya (gumó) termésének alakulása 130 éves műtrágyázás hatására a Rothamsted-i Broadbalk kísérletben, t/ha

Kezelések Évente	1970		1971		1972	
	Búza	Burgonya	Búza	Burgonya	Búza	Burgonya
Kontroll	2.3	12.6	2.5	7.8	3.4	10.8
PK	2.5	19.1	2.6	9.6	4.2	16.2
PKN ₃	4.9	41.8	6.0	45.6	6.5	38.8
Istállótrágya	5.9	43.8	6.9	36.2	8.0	40.2
Istállótrágya+N ₂	5.6	49.1	4.9	49.4	6.9	41.4

Kezelések: lásd 5. táblázat

Előállhat terméscsökkenés, amennyiben nagy K-túlsúly jön létre Mg-szegény talajokon. A legelő-gazdálkodásban ez a jelenség hypomagnesaemiát okozhat, az ismert fűteténia az állatok hirtelen elhullását eredményezheti. A kiegyensúlyozott tápláltság különösen fontos e téren, mert a talaj-növény-állat tápláléklánc érzékeny. A mikroelem-hiány vagy túlsúly jelensége szintén itt jelentkezhet igen károsan. Az egyoldalú műtrágyázás tehát a talaj termékenységét veszélyeztetheti, ill. a talajszennyezés egyik formáját öltheti.

Az újabb kori egyszerűsített növényi sorrendek és a monokultúras termesztés terjedését a műtrágyák valóban elősegítették. A monokultúras művelési rendszerekben gyakran csökken a talaj szervesanyag-tartalma, romolhat a talaj szerkezete és művelhetősége. Hasonlóképpen főleg a megnövelt N-ellátás lehetőséget nyújt a legelők jobb kihasználására, ami megnövelt állatlétszámot jelent, esetenként 3 vagy több tehenet ha-onkénti trágya elhelyezése ezeken a belterjes koncentrált állattartó telepeken nehézségbe ütközhet, a túladagolás rontja a talaj szerkezetét, fizikai állapotát. A talaj károsodását azonban itt sem a műtrágya, hanem a taposás, a túlzott állatsűrűség vagy a nagy gépek okozzák.

A műtrágyák és a vizek szennyeződése közötti összefüggések

Az eutrofizációt azon anyagok okozzák, melyek elősegítik a vízi növények és mikroszervezetek növekedését, egy határon túl előidézve ezzel a vízminőség romlását. A vízi rendszerekben a minimum tényező a P és a N. Ásványi elemek hiányában azonban az élő vizek élettelené válnának, nem nőne a vízi növényzet, halak stb. A Sajtó szerint azonban a „természetes eutrofizáció helyénvaló, míg a műtrágyából származó N és P természetellenes – jegyzi meg Cooke. Valójában a megelőző történelmi korok eutrofizációja nélkül nem fejlődhetek volna a vízi élő rendszerek, nem lennének ma talán szén- és gázmezőink sem.

Egy határon túl persze a vizek termékenységének növelése már nemkívánatos. Megjelenik az algavirágzás, elszaporodnak a bomló növényi maradványok, oxigénhiány léphet fel és halpusztulás jelentkezik. Vajon mennyiben okozza a műtrágya a vizek N- és P-terhelését? Nehéz elfogadni döntő szerepüket. A szerző munkatársaival három éven át végzett vízelemzéseket Saxmundham és Woburn melléki tavakban. A környező művelt területek jelentős N- és P-terhelést okoznak egész éven át. A vizek magas N- és P-koncentrációi ellenére (9. táblázat) algásodás nem fordult elő. A jelenséget feltehetően még nem ismerjük eléggé, kommentálja adatait Cooke.

9. táblázat: A művelt és rendszeresen műtrágyázott talajok drenázs vizeinek, valamint a környező tavaknak átlagos NP-tartalma, mg/liter

Tavak megnevezése	Drenázs vizekben		Tavak vizében	
	NO ₃ -N	P	NO ₃ -N	P
Saxmundham	8	0.07	0.7	0.5
Woburn	22	0.05	2.0	0.01

Az ivóvizek nitrát-tartalma közvetlen egészségügyi jelentőséggel bír. Mivel a N-trágyázással elkerülhetetlenül fellép bizonyos veszteség, amennyiben megfelelő terméket kívánunk elérni, a N egy része a kutakban, folyók és források vizében fog megjelenni. Az ember és az állat egyaránt veszélyeztetett lehet. A FAO által javasolt 10 mg/l körüli NO₃-N határkoncentráció ezakt bizonyítása azonban még nem történt meg, a felnőttekre nézve pedig a magasabb NO₃-N koncentráció káros volta vitatott jelenség.

A vizek terhelését, elszennyeződését okozó tápelemek forrása többféle lehet:

- kilúgzás a mezőgazdaságilag művelt talajokból;
- állatok és emberek által termelt szennyvizek;
- talaj, melyet a víz vagy a szél szállít a vizekbe;
- levegőből történő nedves vagy száraz kiülepedés

Ahhoz, hogy megfelelő terméket kapjunk a jelenkori viszonyok között, 150-300 kg N/ha/év adagolása szükséges. A növények N-igényét részben a talaj, részben a trágya fedezi. A talaj azonban átereszt, a csapadéktöbblet eltávolítja a nitrát feleslegét különösen télen és kora tavasszal, amikor a növények felvétele korlátozott. A belterjesebben művelt angliai területeken 10-100 mg/l NO₃-N tartalmú drenázsvizekkel számolhatunk a jövőben is. Érdemben nem csökkenthető a NO₃-N koncentrációja 10 mg/l alá, hiszen a talaj szerves anyagai mineralizálódnak és a növényi maradványok lebomlása szintén nitrogént termel. Még ha beszüntetnénk is trágyázást, a talajon átszivárgó vizek NO₃-N tartalma összességében nem csökkenne 5 mg/l alá.

Egyes területeken a kilúgzási veszteség kisebb, hiszen a gyepek a N feleslegét egész évben hasznosítják. Télen és kora tavasszal bizonyos veszteség azonban itt is elkerülhetetlen, amikor a növekedés leáll, az elhalt gyökerek bomlása viszont folytatódhat (Ny-Európa enyhébb fagymentes körzeteiben). A kilúgzás nyáron is felléphet a legelőkön. A talaj és a növényzet az állati ürülékkel fellépő pontszerű terhelést, a helyileg jelentkező túladagolást nem képes ellensúlyozni, adszorbeálni.

Az átszivárgó vizek idővel a mélyebben elhelyezkedő vízkészleteket is veszélyeztethetik. Hertfordshire és Bedfordshire meszes kőzetei alatt a dél-angliai vizek 4-12 mg NO₃-N/l koncentrációval rendelkeznek. A NO₃-N tartalom szezonális változást nem mutat, egész évben állandó. Az ammónium-N viszont nem mozgékony, állati ürülékkel vagy felületi elfolyás, ill. erózió útján juthat közvetlenül a felszíni vizekbe.

Amint arra már utalás történt, a vízdíszítő P szintén bemosódhat mintegy 0.5 m-re az altalajba bizonyos körülmények között. A homokos vályog podzolon (Woburn), valamint az állandó gyepek alatt (Park Grass) az erős szerves trágya-terhelés, ill. műtrágyázás hatására az altalaj is gazdagodhat P-ban. Semmilyen más adat nem bizonyítja azonban, hogy a műtrágya-P ilyen módon közvetlenül a talajvizekbe juthat. Vizsgálatok szerint a vizek P-tartalma nem függött össze a talajok P-trágyázásával. Amennyiben az alternatív gazdálkodással a szerves trágyázás, az élő pillangósok termesztése, valamint a gyepváltó gazdálkodás terjedne, nem csökkenne valószínűleg a NO₃ kilúgzás, a P-terhelés kilúgzással pedig akár nőhetne is.

A hatalmas állattartó telepek elkerülhetetlenül hozzájárulnak a vizek szennyeződéséhez. A koncentráltan jelentkező trágyát nehéz egyenesen kijuttatni, felléphet a kilúgzáson túl a felszíni elfolyás, főleg a fagyott talajokon. A N és a P közvetlenül is bejuthat a folyók vizébe a trágyaszarvasokból. Az itatók és éjszakai pihenők környékén a trágyaterhelés ugrásszerűen megnőhet, a szennyezés pontszerű jelleget ölt. A felszíni erózió valamilyen mértékben szinte egész Angliát érinti, a tápanyagokban gazdag felszíni talaj ily módon a folyók, tavak és felszíni víztárolók vizébe jut. A P nagyobb része a talajjal erózió útján kerül a vizekbe. A szélerózió különösen a laza homok és tőzeg talajokon léphet fel. Száraz, szeles tavaszon e jelenség azonban (a növényvel nem fedett táblákon) mindenütt a felszíni tápanyag-gazdag talajréteget veszélyezteti.

Amint láttuk, a talaj szerves anyagával, valamint a szerves trágyákkal összefüggő tápelemveszteségek gyakran meghaladják a műtrágyákból származókat. A mineralizáció nitrogént termel és tavasszal a kilúgzás ezt a N-fölösleget kimoshatja. A szerves trágya-P mozgékonyabb, mint a műtrágya-P, mert nem kötődik úgy a talaj ásványi részében. A szerves trágyák tápelemkészlete nem követi szorosan a növényi igényeket, a felesleg szennyezésként jelentkezhet.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a környezetkímélőbb trágyázási gyakorlat nagyobb gondosságot, nagyobb ráfordítást igényel majd és szükségszerűen a fogyasztónak kell a többletköltségeket vállalnia. A műtrágyák kétségtelenül hozzájárulhatnak (főleg a szakszerűtlen alkalmazáskor) a környezetterheléshez és a vizek elszennyeződéséhez, de nem tekinthetők Cooke véleménye szerint annak alapvető okozóinak, abban nem játszanak meghatározó szerepet.

Irodalom

Cooke, G.W. 1971. Fertilizers and society. Proceedings of the Fertilizer Society. No. 121.

- 1-48.
- Cooke, G.W. 1973. The possibilities of polluting soils by fertilizers and the way they are used. In: *Fertilization et pollution des soils*. 561-583. Gemloux, Belgium.
- Cooke, G.W. 1976. A review of the effects of agriculture on the chemical composition and quality of surface and underground waters. In: *Agriculture and Water Quality*. MAFF Bulletin. 32. 5-57. London.
- Cooke, G.W. 1981. The fate of fertilizers. In: *The Chemistry of Soil Processes*. (Eds.: Greenland, D.J. & Hayes, M.H.B.) 563-592. J. Wiley & Sons Ltd.
- Cooke, G.W. 1984. Constraints on crop production – opportunities for chemical industry. *Chemistry and Industry*. 730-737.

Különböző szemléletek a tápanyag-utánpótlás alapelveiről

A mezőgazdaság teljesítőképességét meghatározó növénytermesztés a tápanyag-utánpótlás színvonalának is függvénye. A régebbi gazdálkodási rendszerek sikere attól függött, hogy mennyiben sikerült a növényi tápanyagokat a talajba juttatni istállótrágyával, illetve a nitrogén többletét biztosítani pillangós növények termesztésével. A jelenkori földművelési rendszerek élelmiszertermelő kapacitásának egyik meghatározója a műtrágya lett, az élelmiszer és a műtrágya kifejezések sokszor szinonim értelemben használatosak. Az 1970-es évek elejével fellépett energiaválság, valamint a közvélemény növekvő aggodalma a kemikáliák környezetkárosító hatása miatt napjainkra sok helyen kikényszerítették a környezetkímélő tápanyagpótlás gyakorlatát Nyugat-Európa és az Egyesült Államok farmergazdaságaiban. A dolgozat célja, hogy bemutassa a növénytáplálás terén külföldön kialakult gyakorlatot, valamint az azzal kapcsolatos újabb kori szemléleteket a környezetvédelem tükrében.

Milyen hatással van környezetére a modern mezőgazdaság?

Az agrárkörökben a közelmúltig uralkodó általános felfogás szerint a modern mezőgazdaság egyértelműen vagy alapvetően jótékony hatású környezetére. E szemlélet főbb elemei az alábbiakban összegezhetők (Cooke, 1982; Geisler, 1988; USDA, 1980):

- A kemizálás eredményeképpen látványosan nőttek a termések. Ez azt is jelenti, hogy több oxigén termelődik, felhasználják és élelemmé alakítják a levegőben lévő széndioxidot, a talajba kerülő szennyeződések és ásványi elemeket, egyaránt tisztítják a levegőt, a talajt és a talajba szivárgó vizeket.
- A nagyobb termés jobb talajfedettséggel jár, így csökken a talajpusztulás (víz- és szélerozió), közvetve a gyomosodás, ill. a gyomborítottság. A nagyobb termés több tarlót és gyökérmaradványt hagy vissza, javítva a talaj szervesanyag-mérlegét, szerkezetét, biológiáját, összességében a termékenységet.
- Hasonlóképpen a növényvédő szerek is (a nagy termés védelme révén) áldásos hatásúak. A pozitív hatás kifejtése után a talajokban lebomlanak, mérgező jellegüket elvesztik és nem kerülnek az élelmiszerláncba szakszerű alkalmazás esetén. A szakszerűséget pedig az állami felügyelet, növényegészségügyi szolgálat és a gazdák képzettsége biztosítja.
- Műtrágyázással olyan anyagokat viszünk a talajba, melyek a természettől fogva benne vannak, csak nem kielégítő mennyiségben. Ezek alapvetően a nitrát, foszfát, szulfát anionok, valamint a kálium, kalcium, ammónium, magnézium kationok. A műtrágyák megnövelik a talaj természetes iontartalmát abból a célból, hogy kielégítő terméseket kapjunk.
- A túltrágyázás, ill. a szakszerűtlen alkalmazás és a vele kapcsolatos környezetszennyezés nem általánosítható és csak lokálisan fordulhat elő. A műtrágyák nemkívánatos mellékhatásainak elhárítására hatásos módszereket ismerünk. A savanyító befolyás meszezéssel ellensúlyozható. A nitrátosodás lassan ható műtrágyák alkalmazásával, ill. többszöri megosztott adagolással elkerülhető. A felszíni vizek eutrofizációjában a műtrágyák szerepe amúgy is csak néhány %-ra tehető és a rutin erózióellenes beavatkozásokkal megszüntethető.

- A talajok és vizek szennyeződéséért alapvetően nem a mezőgazdaság a felelős. Az ipari és kommunális szennyvizek és szennyvíziszapok, mint pontszerű források okozzák a nitrátosodást, a nehézfém-terhelést, ill. a felszíni és talajvizek romlását. A kemikáliák használatának bírálata, szükségességük megkérdőjelezése az egész társadalom és az emberiség jóléte elleni támadással egyenlő. A kemizálás, ill. tágabban az egész mezőgazdasági tevékenység környezetkárosító voltát taglaló vélemények pedig egyszerűen zsurnalisztikának minősíthetők.

Az újabb vizsgálatok tükrében egyre inkább terjed az a vélemény, hogy a mezőgazdaság talán nem kevésbé járul hozzá környezetünk pusztulásához, mint az egyéb emberi tevékenység (ipar, közlekedés, városiasodás). Mind Kelet-, mind Nyugat-Európában kialakultak az ún. „iparszerű” termelési rendszerek. Napjainkra bukásukat éppen az okozta, hogy a gyakran természetellenesen nagyméretű táblákon folytatott monokultúrás termesztés gép, vegyszer és energia éhsége szinte kielégíthetetlennek mutatkozott. A hónapokon át fedetlen talajon felgyorsult az erózió, az öntözött területeken előrehaladt a szikesedés és a láposodás. Erősödött az ellenálló gyomflóra, jelentkezett a monokultúrák hatványozott műtrágyaigénye és betegségeérzékenysége. Az üzemek specializálódtak, elvált a növénytermesztés az állattartástól. Mindezzel együtt járt a fajokban elszegényedő környezet (Kádár, 1992; Mineev & Rempe, 1991; Staub, 1985). Bizonyos értelemben található az „iparszerű” elnevezés, hiszen az ipari eredetű anyagok (gépek, kemikáliák, műanyagok) felhasználása meghatározza a termelést és a termelés költségeit. Másrészt ez a gazdálkodási mód létrehozza, ill. fenntartja a kiszolgáló vegyipart, gépipart és igényli a szállítást, a nagymérvű közlekedést is. Tehát előidézője annak a szennyezésnek, melyet ez a háttér energiatermelés, ipar és közlekedés hoz létre. Mindez nem elhanyagolható terhelést jelent a környezetre Európa sűrűn lakott körszélein.

Ami konkrétan a tápanyagpótlást és műtrágyákat illeti, az újabb szempontok az alábbiakat hangsúlyozzák (Kádár, 1992; Staub, 1980; Mineev, 1984; IPI, 1990; Brüne, 1990; Kunzman & Matzel, 1990):

- Az „iparszerű” termelés során a túltrágyázás nem kivételes egyedi jelenség, hanem általános. A gazdálkodási mód a tápanyagbőség elvén és gyakorlatán alapszik, a tápanyag nem kerülhet minimumba. Ezt fenntartja a vulgáris input-output szemlélet, tehát a több műtrágya – több termés összefüggés abszolutizálása. Alapja az a konzervatívizmus, amely a korábbi évtizedek szemléletének és gyakorlatának (amikor a talajok még valóban tápanyagszegények voltak) újratermelését jelenti a már megváltozott körülmények (feltöltött gazdag talajok, dráguló műtrágya) között.

- A műtrágyák fele vagy kétharmada gyakran vivőanyag. A kálisóban pl. 40-50 % a klorid, melyet a legtöbb növény nem igényel, sőt káros mind a talajra, mind a növényre. Természetidegen a műtrágyákban lévő szabad sav és olyan nemkívánatos nehézfémek, mint pl. a kadmium, stroncium, urán, arzén, higany stb. Ezek egy része nemcsak a talajban halmozódhat fel, hanem a takarmány-élelem láncán keresztül az emberre is veszélyt jelentenek.

- Az intenzív műtrágyázással sok olyan vegyületet juttatunk a talajba természetellenes formában, arányban és mennyiségben, melyet csak részben vagy egyáltalán nem köt meg. A talajok megkötő, ill. visszatartó képessége véges. A

környezeti terhelést csak egy határig képesek pufferolni és „áteresztővé” válnak. Megnöhet a nitrát-, klorid-, szulfácionok, valamint a nehézfémek, oldható összes só mennyisége. A túlzottan bőséges kínálatot a növény már nem képes hasznosítani, ezek az anyagok szennyezővé válhatnak és a talajvizekbe, erózióval a felszíni vizekbe juthatnak. Amint az *1. táblázat* adatai mutatják, a talajvizek sóterhelésében a mezőgazdaság szerepe meghatározó lehet (*Staub, 1980*).

1. táblázat: A talajvizekbe mosódó sók mennyisége Pfalz megye, Németország, kg/km²/év

Szennyező forrás	Szulfát	Klorid	Nitrogén
Temetők	0,0	0,3	4,3
Csatornák	0,3	0,4	0,1
Szeméttárolók	25	78	13
Mezőgazdaság	996	1494	1370

A talajtermékenység megőrzése a „biológiai” farmgazdaságban

A kemizált mezőgazdasági termelés mellett, ill. vele szemben már korábban különböző biodinamikus irányzatok alakultak Ny-Európában és az Egyesült Államokban. Részarányuk ma sem jelentős, ritkán éri el az 1-2 %-ot. A fogyasztók egy kisebb hányada azonban hajlandó magasabb árat fizetni termékeikért, hogy vegyszermentes élelemhez jusson. A szerves gazdálkodás irányzatához tartozók gyakran az élőlényhez hasonló organizmusnak tekintik a mezőgazdasági üzemet. A stabilitást a zárt anyagforgalom (szerves anyagok, trágyák visszajuttatása) valósítja meg. Szélsőségesebb képviselőik kategórikusan tiltják a kemikáliák, köztük a műtrágyák használatát.

A hangsúlyt a talaj tartós humuszának növelésére, az aerob bomlás elősegítésére, a egyes kultúrákra és a táj védelmére helyezik. Nem szántanak túl mélyen és gyakran, a talaj lazítását döntően a növényekre és a földigilisztákra bízzák. Természetes módon kívánják elérni a talaj beéredettségét állandó növényi fedettséget biztosítva. A kisebb gerinces állatok, kétéltűek számára élőhelyeket tartanak fenn. Nem törekednek mindenáron a maximális termés elérésére, felszántva a lehetséges területeket. Meghagyják az erdő, nádas, tavak, rétek és legelők, kert és gyümölcsös sokféleségét (*Staub, 1980, 1985; Mineev, 1984*).

Az ökológiailag kívánatos tápanyagpótlás alatt főként a növényi hulladékok, szerves trágya, valamint a kóporok és algalisztek felhasználását értik. Ezek az anyagok lassan adják le tápelemeiket, közvetett és sokoldalú tápanyagforrást jelenthetnek a növénynek. Vízoldható elemeket alig tartalmaznak, viszont növelik a talaj humusztartalmát és a talaj élővilága közvetítésével fejtik ki hatásukat. A túl sok trágyalé, fahamu, kálium- és magnéziumsók sem kívánatosak, viszonylagos oldékonyságuk miatt. A trágyalét finoman elosztva tág C/N arányú szalmával javasolják felhasználni, ill. a komposztok készítésénél hasznosítani (*Staub, 1980, USDA, 1980*).

A biológiai gazdálkodás követői szerint a műtrágyázás hozzájárul a talajélet, növény, állat és ember degradációjához (*Kádár, 1992; Staub, 1980, 1985*):

- A talaj egyoldalúan telítődik könnyen oldható primér tápelemekkel természetellenes módon, amikor műtrágyákat alkalmazunk, vagy szennyvizekkel öntözünk. Ennek következtében a növényben is túlsúlyba jutnak a mozgékonyabb és egyszerűbb „szerkezet nélküli” vegyületek a polimerek rovására, szabad aminosavak a fehérjékkel, redukáló cukrok a poliszaharidokkal, szerves sók a szerves vegyületekkel szemben.
- Mindez hiányos anyagcseréjű, csökkent betegség-ellenállóságú növényt eredményezhet. A kártevők feladata viszont elpusztítani a selejtes szervezeteket, így egyre inkább rá vagyunk utalva a kémiai növényvédelemre. Utóbbi kitermeli az újabb ellenállóbb élősködő szervezeteket és kialakul a környezetterhelő ördögi kör.
- A növények élettani és kémiai összetételének romlása csökkenti az eltarthatóságot, egyre több konzerváló anyagot igényelve az élelmiszeriparban. Romlik a termékek íze, zamata, minősége.
- Az iparszerű állattartó telepeken hormonokkal, vitaminokkal, ásványi sókkal dúsított (de hiányos anyagcseréjű) takarmányokkal táplált állatokon nő a meddőség, a spontán vetélés és lecsökken a betegség-ellenállóság.
- A humán civilizációs betegségek részben az ipari élelmiszer-előállítás következményei. Ez megmutatkozik az emésztőszervek funkcionális zavaraiiban (fogazat, gyomor, máj, epe), valamint hozzájárul a szív- és érrendszer, az ízületek és a bőr, a légző és ivarszervek káros működéséhez. A degeneratív egyedek növekvő számát többen szintén a tápláléklánc említett anomáliáival hozzák összefüggésbe.

Tápanyagpótlás a környezetkímélő fenntartó farmgazdaságokban

A fejlett országok mezőgazdaságában a fenntartó (alternatív) gazdálkodás válik általánossá. Nem minden rossz, amit a modern mezőgazdaság jelent és nem minden jó, amit biológiaiainak neveznek. Azokat az elemeket kell érvényre juttatni, melyek jobban megfelelnek a társadalom jelenlegi és hosszú távú érdekeinek. Az organikus gazdálkodással szemben felhozható, hogy (*Kromer et al. 1991; Meurer 1991; Vereijken, 1990*):

- A szerves trágyákból és komposztokból esetenként több só, nitrát, nehézfém juthat a földekre és a talajvizekbe, mint a mérsékelt műtrágyázás nyomán. A műtrágyát egyébként sem helyettesíthetik mindenütt szerves trágyával, hiszen azok nem állnak korlátlanul rendelkezésre.
- Műtrágyák nélkül a termékek valóban lecsökkennének, illetve a termékek ára nőhetne. Számos betegség, ill. kártevő ellen biológiai módszerekkel nem lehet eredményesen védekezni.
- Nem állítható egyértelműen, hogy a biológiai módszerekkel termelt élelmiszerek egészségesebbek. Sőt, számos körzetben az ásványi trágyázás bevezetésével váltak a talajok, növények, állatok, emberek egészségesebbé. Az ember soha nem élt oly sokáig erejének teljében, mint ma.
- Minden termesztési mód biológiai a mezőgazdaságban, hiszen élő szervezetek közreműködésével valósul meg.

A szakmai körökben meglehetősen általánosan elfogadott vélemény szerint nem a trágyázásról vagy műtrágyázásról, a növényvédelemről vagy a mechanikai művelésről kell lemondanunk. Szakítani kell viszont az értelmetlen túlműveléssel, túlvédekezéssel, túltrágyázással. Megszüntetendők a természetellenes nagy táblák,

monokultúrák. Ki kell használni a növényváltás előnyeit. A trágya funkciója nem más, mint a talaj hiányzó elemeinek pótlása. A valóban szakszerű trágyázással a talaj hiányosságait pótoljuk. Az eredmény a termékenyebb és egészségesebb talaj, növényi produkció, állatvilág és emberi közösségek. A szakszerű tápanyag pótlást lehetővé teszik a tudományos igényeknek megfelelő trágyaigény-becslési eljárások (Eigner, 1990; Kloepfer et al. 1992; Vetter & Früchtenicht, 1979; Matzel & Heinrich, 1990).

Az alternatív gazdálkodásban nem törekednek mindenáron a maximális termékek elérésére, de gazdaságosságra igen. A csökkenő hozadék törvénye szerint a gazdasági optimum a termésmaximum alatt helyezkedik el. A szükséges trágyaadag pontosan nem határozható meg, csupán becsülhető. Az időjárás előre nem ismerhető meg, a termékek pontosan nem tervezhetők, a talaj tápanyag-szolgáltatása a tenyészidő körülményei függvényében alakul. Az új trágyázási filozófia alapjait az alábbiakban lehet összefoglalni:

- A maximális termés biztonsága érdekében eddig túltrágyáztak. A környezet biztonsága érdekében most enyhén alultrágyáznak.
- A forgó leginkább trágyaigényes növényéhez igazodott a trágyázás. Most megelégednek az átlagos trágyaigény kielégítésével.
- Korábban a jó vagy igen jó ellátottság elérése volt a cél, tehát a talajok tápelem-feltöltöttségére törekedtek. Most a kielégítő ellátottságot tekintik alapnak és az évenkénti mérsékelt fenntartó trágyázás biztosítja a kielégítő termésszinteket.

A trágyázási szaktanácsadás alapjai és üzemi gyakorlata

A trágyaszükséglet megállapításának alapelvei lényegében azonosak minden fejlett országban. A talaj tápanyag-ellátottságát talajvizsgálatokkal (TVG) állapítják meg, mely a legkülönbözőbb kémiai módszerekkel történhet. Európában terjed az ammoniumacetát + EDTA kioldás, mint univerzális módszer, amely a legtöbb makro- és mikroelem meghatározására egyaránt alkalmasnak látszik. A felvehető tápelemek széles skáláját 20-25 elemre kiterjedően ICP technikát alkalmazva határozzák meg. A kémiai úton nyert talajvizsgálati jellemzőket szabadföldi kísérletekben kalibrálják, hogy élettani értelmet nyerjenek. A talaj tápanyag-ellátottsága, valamint a termésszintek függvényében javaslatokat, irányszámokat adnak a trágyázásra (Kerschberger & Podleshak, 1990; Simán, 1990; Andres, 1990; Baier 1975; Steineck, 1980).

A tervezett termés fajlagos, azaz 1 t főtermék + a hozzá tartozó föld feletti melléktermék tápelem tartalmát a 2. táblázat foglalja össze. A táblázat szerint pl. az 1 t napraforgó kaszattermés létrejöttéhez (a hozzá tartozó tányér + szárral) átlagosan 40 kg ha⁻¹ N, 20 kg P₂O₅, 70 kg K₂O, 30 kg CaO és 17 kg MgO szükséges. Amennyiben 3 t/ha kaszattermással számolunk, az NPK-igény az alábbi lesz: 120 kg N, 60 kg P₂O₅, 210 kg K₂O. Ezután figyelembe veszik a talaj ellátottságát és annak fokozatai alapján a tervezett termés elemigényét módosítják. Amennyiben a talaj várhatóan fedezi a termés igényét, trágyázásra nem lesz szükség. A magas vagy károsnak minősülő ellátottságon a pótlólagos trágyázás (a pocsékoláson és környezetszennyezésen túlmenően) termésnövekedést, illetve minőségromlást eredményezhet.

2. táblázat: Főbb szántóföldi növények átlagos fajlagos tápelemigénye (kg/t betakarításkori főtermésre számolva)

Növényfaj	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
1. Búza	27	11	18	8	7
2. Rozs	26	12	20	10	4
3. Őszi árpa	27	10	20	7	4
4. Tavaszi árpa	23	9	18	12	4
5. Kukorica	25	11	20	8	7
6. Cukorrépa	4	1	6	2	1
7. Burgonya	5	2	7	2	2
8. Borsó	50	17	35	35	8
9. Szója	62	37	64	40	35
10. Lucerna széna	27	7	20	30	5
11. Here széna	23	5	20	25	6
12. Napraforgó	41	20	70	30	17
13. Repce	100	45	120	100	34
14. Olajlen	40	13	50	40	14
15. Rostlen	12	6	12	10	3
16. Rostkender	5	4	8	14	2
17. Silókukorica	2,7	1,2	3,5	1	0,5
18. Egyéb takarmány	3,0	1,0	3,0	2	0,4

A cél itt a már nemkívánatosan magas elemellátottság csökkentése. A trágyázást szüneteltetik és csak az újabb vizsgálatok tükrében kerülhet sor trágyák alkalmazására, esetleg pár év múlva. Amennyiben a kötöttebb és humuszosabb talajokon rendelkezésre állnak a vetés előtti ásványi N-készlet adatai, úgy a 0-60 cm réteg NO₃-N mennyiségével a N igény csökken. Azaz ha pl. a talajban legalább 120 kg NO₃-N/ha található a felső rétegekben vetés előtt, ezt műtrágya-N egyenértékűnek tekintik és ilyen esetben nem igényel N-műtrágyát a 3 t/ha napraforgó kaszattermése kötöttebb humuszos talajon. A túlsúlyra érzékeny növényeknél mint a cukorrépa, dohány és részben a napraforgó, csak akkor adnak nitrogént, ha a hiány fellépését újólág TVG vagy NVG (növényvizsgálati) adatokkal igazolni lehet, vagy a helyszínen egyértelműen diagnosztizálható a N-alultápláltság.

A tápanyagokkal jól vagy kielégítően ellátott talajokon trágyahatás nem várható. Cél az ellátottsági szint megőrzése, esetleg csökkentése az ellátottsági zóna alsó határáig. A túltrágyázásra érzékeny növényeknél ugyanis a trágyázás természetes csökkenést vagy minőségromlást eredményezhet. Így pl. a P-Zn antagonizmus miatt Zn hiánya jelentkezhet a foszforral jól ellátott meszes talajon. A PK-trágyázás szüneteltethető a nem trágyaigényes növényeknél, a tervezett termés PK-igényének felével számolnak a részben trágyaigényeseknél és teljes visszafordításra törekednek a trágyaigényes kultúráknál. Az ellátottsági zóna alsó

határán már a fenntartó trágyázást javasolják a forgó egészére, mely képes megőrizni a talaj termékenységét.

Közepes ellátottságon nagy termékek már nem érhetők el jelentősebb tápanyagpótlás nélkül. A forgó egészére a 1.5-szeres, tehát talajgazdagító trágyázás indokolt, hiszen a talaj nem kielégítően ellátott. A nem trágyaigényesebb kultúrák tervezett termésének fajlagos igényét is biztosítjuk. Célunk a talaj ellátottságának lassú növelése, feltöltése PK-elemekkel, hogy a talaj hiányosságait pótoljuk és termékenysége helyreálljon.

A gyenge vagy igen gyenge ellátottságon minden növény jelentős trágyázást igényel, különösen homoktalajon. A gazdaságos termékek elérésére trágyaigényes növényeknél 2-3, a kevésbé igényeseknél 1.5-2 fajlagos szorzófaktorral számolnak. Cél nemcsak a termésvesztés elkerülése, hanem a talaj termékenységi-tápláltsági szintjének gyors növelése. A nitrogénre a korábban elmondottak érvényesek.

Összefoglalva a trágyázásnak kettős célja van. Egyrészt elkerülni a termésvesztéséget az alul- vagy túltrágyázásból eredően. Másrészt a talaj termékenységének megőrzése, ill. a tápelem ellátottság fenntartása a kielégítő szinten, ahol a trágyázás gazdaságilag hatékony és nem terheli feleslegesen a környezetet. A PK-trágyázás alapelveit tükrözi a 3. táblázat, mely a visszapótlást számszerűsíti egy hosszabb időszakra, a vetésforgó egészére.

3. táblázat: A P és K pótlásának irányelvei vetésforgóban a talaj ellátottsága, valamint a növény trágyaigénye függvényében

Ellátottság a talajban	A visszapótlás intenzitása*		Forgó egésze
	Trágyaigényes	Nem igényes	
Károsan magas	-	-	-
Jó	1	-	0,5
Kielégítő	1,5	0,5	1,0
Közepes	2,0	1,0	1,5
Alacsony	2,5	1,5	2,0

* Visszapótlás a termékkel kivonathoz viszonyítva (szorzófaktor)

A tápanyagpótlást módosító egyéb tényezők számszerű figyelembevétele

A műtrágyaigény természetesen módosul annak függvényében, hogy mi történik a melléktermékekkel, mennyi szerves trágyát használnak, mi volt az elővetemény stb. A legtöbb európai országban a módosító tényezőket az alábbiak szerint számszerűsítik (Cooke, 1982; Geisler, 1988; Kádár, 1992; IPI, 1990):

- A N-igény csökken egyéves pillangós elővetemény után átlagosan 20, évelő pillangóst követően pedig az állománytól függően 40-60 kg/ha/év mennyiséggel.
 - A N-igény nő a humuszban szegény és nitrogénnel gyengén ellátott talajon, amikor a C/N arányú és nagy tömegű szerves anyagot szántunk le. Ilyen a szalma, kukorica és napraforgósár stb. A javasolt N-kiegészítés 8-10 kg N/t szármaradványra számolva.

- A trágyaigény csökken, amennyiben az elővetemény termése lényegesen elmaradt a tervezettől valamilyen elemi kár, mint pl. szárazság, fagykár, betegség miatt. Az előző évben felhasznált trágyák utóhatását 50 %-kal veszik figyelembe.

- A K-igény csökken kombájn betakarítás után. Az átlagos szem/szalma arány alapján számolva minden tonna szemtermés után a kalászosoknál 10, a kukoricánál 15, a napraforgónál 60 kg K₂O marad vissza a talajban. A korábbi példában említett 3 t/ha napraforgó szemmel tehát mindössze 30 kg K₂O/ha a veszteség, mert a leszántott tányérral és szárral 180 kg K₂O/ha a táblán marad.

- Az NPK-igény csökken az alábbi módon 10 t közepes minőségű almos istállótrágya alkalmazásakor:

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
I. évben	20 kg	20 kg	40 kg
II. évben	20 kg	20 kg	30 kg
Összesen a forgóban	40 kg	40 kg	70 kg

-Az NPK-igény csökken az alábbi módon minden m³ átlagos összetételű műtrágya alkalmazásakor:

Trágya	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Friss	1,5 kg	0,6 kg	0,9 kg
Állott	1,0 kg	0,4 kg	0,8 kg

-A P₂O₅ igény nőhet mintegy 20-30 %-kal, amennyiben a talaj CaCO₃ készlete a 20 %-ot meghaladja a szántott rétegben. Hasonlóképpen a túlzott savanyúság esetén is, amennyiben a pH(KCl) 5 alatti a talajban. Mindez a gyenge és közepesen ellátott területeken javasolt.

A Közép- és Észak-Európában elterjedt ammóniumlaktát-oldható, azaz a felvehetőnek tekintett és Magyarországon is használatos TVG határértékeket a 4. táblázat foglalja össze (Kádár, 1992). A felvehető P-tartalmakat a talaj reakcióállapota, míg a K-tartalmat a kötöttség függvényében kategorizálják. E kategóriákkal jellemzik a talajok foszfor- és kálium-ellátottságát. Az 1970-es és '80-as években javasolt átlagos N-adagokról az 5. táblázat adatai tájékoztatnak, néhány ország példája nyomán (Cooke, 1982; Geisler 1988; IPI, 1990; ÖDB 1983).

4.táblázat: A talajok ammóniumlaktát-oldható PK-tartalmának javasolt határértékei a talajok mészállapota, ill. kötöttsége függvényében

Talaj-Tulajdonság	A tápelem-ellátottság határérték koncentrációi				
	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Magas	Káros*
AL-oldható P ₂ O ₅ , mg/kg talajban					
Savanyú	50 alatt	50-80	80-120	120-200	200 felett
Semleges	80 alatt	80-120	120-150	150-250	250 felett
Meszes	100 alatt	100-150	150-200	200-300	300 felett
AL-oldható K ₂ O, mg/kg talajban					
Homokos	80 alatt	80-120	120-160	160-200	200 felett
Vályog	100 alatt	100-150	150-200	200-250	250 felett
Agyagos	150 alatt	150-200	200-250	250-300	300 felett

* A túl magas koncentráció élettani zavarokat okozhat a növényi tápelem-felvételben

Az 1980-as évek végén Németországban ajánlott, a PK-ellátottsági kategóriákhoz rendelt és növényre finomított PK-adagokat a 6. táblázat szemlélteti (Vetter & Fruchtenicht, 1979).

5. táblázat: Javasolt átlagos N-adagok különféle növényekre néhány európai országban (kg N/ha/év) az 1970-es, 1980-as években

Növény	NDK	Anglia	NSzK	Ausztria
Őszi kalászos	50-100	30-125	30-130	80-130
Tavaszi kalászos	40-120	30-100	30-200	80-100
Sörárpa	30-70	0-100	30-150	0-50
Repce	120-250	100-300	100-300	120-160
Burgonya	60-200	30-220	100-300	100-140
Takarmányrépa	140-300	150-300	150-300	100-200
Cukorrépa	120-250	50-140	60-100	100-140
Silókukorica	80-160	-	100-350	100-220
Lucerna	0-140	-	0-150	-

6. táblázat: Javasolt PK-adagok a talaj PK-ellátottsága függvényében Németországban (LUFA szaktanácsadás, átlagos terméssel számolva)

Növénycsoport, Növényfaj	Ellátottsági kategóriák*					
	1	2	3	4	5	6
	P ₂ O ₅ , kg/ha					
Kapás növény, kaszáló	0	60	120	180	240	300
Repce, takarmánynövény	0	50	100	150	200	250
Pillangósok	0	40	80	120	160	200
Gabonaféle, legelő	0	0	40	80	120	160
	K ₂ O, kg/ha					
Kapás növény, kaszáló	0	100	200	300	400	500
Repce, takarmánynövény	0	80	160	240	320	400
Pillangósok	0	60	120	180	240	300
Gabonafélék, legelő	0	30	60	90	120	150

* Kategóriák: 1: extrém magas, 2: jó vagy magas, 3: kielégítő, 4: közepes, 5: alacsony, 6: extrém alacsony

A svéd mezőgazdaság megítélése környezetvédelmi szempontból

A skandináv államok, köztük a svédek, közismerten élen járnak a sérülékeny környezetük védelmében. Svédország közeledik a Közös Piac felé, mezőgazdaságát a szigorodó környezetvédelmi elvárásokhoz igazítja. Példája esettanulmányként szolgálhat a fejlett, jövőbeni farmgazdálkodásnak. A művelt terület 3 millió ha körüli, alig 1/10-e az összesnek. Az állattenyésztés északon a legeltetésre

támaszkodik. Főbb termesztett kultúrák a kalászos növények, olajosok, cukorrépa és a burgonya, melyek a gyepekkel együtt a művelt terület nagy részét teszik ki. A mezőgazdaság bevételeit döntően a tej és a hús jelenti, fő állata a szarvasmarha.

A gazdálkodás jellege Svédországban

Az 1950-es évekig, ill. e század első felében a hagyományos gazdálkodás keretében még nem különült el az állattenyésztés és a növénytermesztés a farmokon. Az istállótrágya pótolhatatlanul értékes anyagnak számított és vetésforgók uralkodtak a herefüves gyeppel való gabonagazdálkodás viszonyai között. Ma is meghatározó a családi farm 30-50 ha átlagos méretével, de a gazdálkodás jellege megváltozott. Bizonyos körzetekben az állattenyésztés dominál és itt a szerves trágya túltermelése okozza a legfőbb környezeti problémát. Másutt elkülönült a növénytermesztés, mely főként árugabonát, néha repcét, valamint Dél-Svédországban cukorrépát jelent. A környezeti gondok itt az alábbiakban jelentkeznek (Bertilsson, 1990; Gustavsson, 1990; Andersson, 1990):

- Ugrásszerűen megnő a növényvel nem fedett és erózióknak kitétt talaj aránya.
- Megjelenik a kalászosokat reprezentáló leegyszerűsített vetésforgó, ill. monokultúra annak minden negatívumával.
- Általánossá válik a talajok tömörödése, szerkezetromlása, szerves anyagban való elszegényedése.
- A gazdálkodás erőteljesen függ a műtrágyáktól és a növényvédő szerektől, a túltrágyázás és a túlvédkezés gyakorlata ill. kényszere zsákutcába torkollik.

Az elmúlt évtizedben bekövetkezett módosulások és szemléletváltás

Állami ösztönzésre ma már a művelt terület kb. 10 %-a parlagon marad az agrártúltermelés (főként a gabona és tej) miatt. Viták folynak az alternatív növények termesztéséről energianyerésre, etanol gyártására. A műtrágya-felhasználás dinamikus növekedése már az 1970-es évek közepén megtört és azóta csökkenő, főként a foszfor és kálium esetében. A gabonatermések trendje viszont továbbra is növekvő 5-6 t/ha országos szemtermés-átlagokkal. A mezőgazdasági környezetszennyezés főbb forrásai az alábbiak (Bertilsson, 1990; Andersson, 1990):

- A nitrogén- és foszforterhelés, mely a talajok és a tavak túltáplálását eredményezte.
- Az állattartó telepek ammónia szennyezése, mely a nitrát képződésén keresztül a svéd tavak elsavanyodását és eutrofizálódását gyorsítja.
- A műtrágyák és szennyvíziszapok károselem terhelése, mely a svéd talajokban főként a kadmium akkumulációját és ezzel együtt a tápláléklánc Cd terhelését növeli.

Újabban alacsonyabb Cd szennyezettséggel bíró foszforitokat használnak a műtrágyák gyártására, így a talajok Cd-felhalmozása 0.5-1.0 g/ha/év körül maradhat. Kísérleteznek Cd-mentes szuperfoszfát előállításával. A szennyvíziszapok felhasználását akkor engedélyezik mezőgazdasági területen, ha azok Cd-tartalma 5 mg/kg alatt van a szárazanyagban. A gazdák általában még így sem hajlandók földjeiken a szennyvíziszapokat használni.

Tápanyagpótlást érintő törvényi és jogszabályi korlátozások (Bertilsson, 1990; Gustavsson, 1990; Andersson, 1990):

- Az állatsűrűséget az állati trágyatermelés alapján limitálják, mégpedig a szerves trágya P-tartalma függvényében. Az összes felhasznált trágya-P mennyisége nem haladhatja meg a növények P-igényét. Utóbbi évente és hektáronként 20 kg elemi P körül adódik, azaz 40-60 kg P₂O₅/ha. Mindez 1.6 tejelő tehén vagy 10 hízó sertés tartását engedélyezi ha-onként. A korlátozás ugyan 1995-ben lép életbe, de új farmok alapítása, ill. az állattenyésztés bővítése esetén már 1990 óta kötelező.
- A szerves trágyák kijuttatása téli időszakban, december 1. és február 20. között tilos. A vízközeleti területeken és a déli körzetekben 1995-től csak a gyepek és az őszi vetések alá adható szerves trágya augusztus 1. és november 30. között. A közbülső időben gondoskodni kell a szerves trágya tárolásáról. A szarvasmarha tartásakor 8, míg a sertés és a baromfi tartásakor 10 hónapra elegendő tárolókapacitás szükséges 1995-től, a jelenlegi 5 hó helyett.
- A kormány 20 %-os hozzájárulást nyújt a tárolókapacitás bővítéséhez maximum 25 ezer korona összeggel. Az átállás érdekében a mintegy 20 ezer körüli, legalább 25 számosállattal rendelkező gazdaság ingyenes és kötelező szaktanácsadásban részesül. A szerves trágyák egyenletes kijuttatását segítő, központi kutatási és fejlesztési programok indultak a kiszolgáló technika (trágyaszórók, injektálók) színvonalának emelésére.
- A nitrogén- és foszforműtrágyákra kivetett környezetvédelmi adót 1988-ban már megduplázták. A „zöld adó” mértéke 0.60 SEK/kg N és 1.20 SEK/kg P₂O₅, mely a vételárnak mintegy 10 %-át jelentette. Ezzel közel 20 %-os csökkenést kívánnak elérni. Amennyiben a trendek ezt a felhasználás-csökkenést nem valószínűsítik, a zöld adó mértéke nőni fog.
- Cél a talaj minél teljesebb fedettsége lehetőleg egész évben. Szorgalmazzák az áttelelő kultúrák mint pl. a gyepek, az őszi vetésű gabonák és olajosok termesztését. Részben sűrítik a forgót a növényekkel, illetve köztesként szolgálnak. A köztes növény (catchcrop) fő funkciója, hogy hasznosítsa a talaj mobilis tápelemeit, meggátolva kilúgzásukat, valamint csökkentse az eróziót. A szántók átlagos korábbi 40 %-os fedettségét 60 %-ra tervezik növelni 1995-re. A Nemzeti Mezőgazdasági Bizottság a terveket körzetekre konkretizálva is kidolgozta.
- Külön programok indultak a környezetvédelmi beavatkozásokat megalapozó kutatások támogatására. Az ammóniaszennyezést 1995-re 25, 2000-re pedig 50 %-kal kívánják csökkenteni. Az első lépést elérhetőnek ítélik a meglévő ismeretek és technikai megoldások alapján (istállótrágya helyes kezelése, kijuttatása, azonnali bedolgozása). A második fázis kiterjedt kutatásokat igényelhet: istállók ventilációja, hígtrágyák zárt rendszerben való mozgatása stb.

Következtetések, tanulságok

- A tápanyagpótlás gyakorlata üzemenként, sőt táblánként eltérő. A növények trágyaigényét ugyanis számos termőhelyi tényező befolyásolja mint a humusztartalma, vízgazdálkodása. Meghatározó az egyes növények tápanyag-feltáró, ill. tápanyag-hasznosító képessége is.
- Az említett tényezők figyelembevételére a szaktanácsadók különböző módszereket, határértékeket és szemléletet alkalmaznak. Egységes szaktanácsadás nem létezik, egy országon vagy régióon belül is gyakran több tucat intézmény (műtrágyagyárak, egyetemek, önálló szaktanácsadó intézmények, kutatóintézetek stb.) adhat

szaktanácsot. A szaktanácsadás főbb alapelvei, melyet összeállításunk bemutatott, azonban általánosan elfogadottak.

- Általános tendencia, hogy egyre több termésbefolyásoló tényező számszerű figyelembevételére törekszenek az adott termőhelyen a hatékonyabb és racionálisabb szaktanácsadás megalapozásához. A talaj és növény elemzésén túl támaszkodnak a termőhelyen végzett szabadföldi kísérletek vagy próbák eredményeire és figyelembe veszik a klimatikus viszonyokat, táblatorzskönyvi adatokat stb.

- Az új technikák (számítógépek, programozott műtrágyaszórók, digitális adatbank és táblaszintű talajtermékenységi térképek) lehetővé teszik, hogy az agrotechnikai és trágyázási beavatkozásokat a talajfoltok és táblarészek speciális igényei szerint differenciáltan végezzék. Az átlagos trágyázás ugyanis a tábla egyes részein túltrágyázást, másutt alultrágyázást eredményez. A differenciált beavatkozás egyaránt racionális és környezetkímélő.

- Konkrét szaktanácsadást csak a helyismerettel rendelkező szakember adhat. A gazdálkodás módja, ill. a farmer prioritásai döntően befolyásolhatják a trágyázás módját, idejét, adagját. A fejlett országok tápanyagokkal jól ellátott talajain a szaktanácsadás egyik feladata, hogy rámutasson hol nem kell, esetleg nem szabad trágyázni a talajtermékenység és a környezet veszélyeztetése nélkül.

Irodalom

- Andersson, A. 1990. Heavy metal problems in Swedish food production and food. Proc. Seminar. Rapport 51:235-257. Lantbruksak. Stockholm.
- Andres, E. 1990. Soil fertility data bank as a tool for site-specific K recommendations. In: Development of K-fertilizer Recommendations. 291-306. International Potash Institute. Bern.
- Baier, J. 1975. The relationship between the available K reserve in soil and winter wheat maximum yields. Rostlinna Vyroba. 21:779-785.
- Bertilsson, G. 1990. Agriculture, environment and fertilizers. Swedish development. Proc. from Seminar. Rapport 51:8-17. Lantbruksak. Stockholm.
- Brüne, H. 1990. Bodenfruchtbarkeit – was ist das? Schweiz. Landw. 29. (1) 5-13.
- Cooke, G.W. 1982. Fertilizing for Maximum Yield. Crosby-Lockwood and Son Ltd. London.
- Development of K-fertilizer Recommendations, 1990. International Potash Institute, Bern.
- Düngefibel., 1983. Beratungsschrift. No. 1. ÖDB. Wien.
- Eigner, H. 1990. Die umweltschonende EUF-Methode wird in Österreichs Ackerbaugebieten noch viel zu wenig angewendet. Agro-Zucker. 3:3-6.
- Geisler, G. 1988. Pflanzenbau. 3.2. Düngung. 212-231. Verlag Paul Parey. Berlin & Hamburg.
- Gustavsson, J. 1990. Regulations within environment in Swedish agriculture. Proc. from Seminar. Rapport 51. 124-128. Lantbruksak. Stockholm.
- Kádár I. 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. AKAPRINT. Budapest.
- Kerschberger, M. & Podleshak, W. 1990. Zielen die P-Düngungsempfählungen auf ein Überversorgung der Böden mit Phosphor hin? Feldwirtschaft. 31:435-436.

- Kloepfer, F., Murphy, D. & Schnug, E. 1992. Ertragskartierung zur gezielten Düngung. *Landtechnik*. 47. 177-178.
- Kromer, K. H. et al. 1992. Umweltbelastungen aus Gülle. Strategien zur Einschränkung. *Landtechnik*. 46:449-452.
- Kunzmann, R. & Matzel, W. 1990. Ökologische Aspekte der Stickstoffdüngung. *Feldwirtschaft*. 31:440-441.
- Matzel, W. & Heinrich, L. 1990. Nährstoffsparender und umweltschonender Düngereinsatz. *Feldwirtschaft*. 31:438-439.
- Meurer, R. 1991. Lebensmittelverträglicher und umweltschonender Düngemitelesatz in Landwirtschaft und Weinbau. *Wasser u. Boden*. 43. (2) 77-81.
- Mineev, V.G. 1984. *Agrohimiya i Biosfera*. Izd. Kolosz. Moszkva.
- Mineev, V.G. & Rempe, E.H. 1991. Ekologiceszkie poszledsztvija dlit'elnogo primenenija povüennüh i vüszokih doz mineral'nüh udobrenij. *Agrohimiya*. 3:35-49.
- Simán, Gy. 1990. Ways of testing nutrient status in soil and plant. Proc. from Seminar. Rapport 51. 111-119. *Lantbruksak*. Stockholm.
- Staub, H.A. 1980. *Alternative Landwirtschaft. Der ökologische Weg aus der Sackgasse*. Fischer Taschenbuch Verlag. Frankfurt/Main.
- Staub, H.A. 1985. Western experience with the costs and benefits of organic agriculture. *Agrokémia és Talajtan*. 34. Suppl. 129-144.
- Steineck, O. 1981. Interactions of growth factors in yield formations in the continental climate. In: *Agricultural Potentials in Continental Climates*. 175-198. IPI. Bern.
- USDA, 1980. *Report and Recommendations on Organic Farming*. USDA Washington. D.C.
- Vereuken, P. 1990a. Integrated nurient management (INM) for arable farms. *Schweiz. Landw.* 29. 359-365.
- Vereuken, P. 1990b. Integrierte Nährstoffversorgung im Ackerbau. *Schweiz. Landw.* 29:367-371.
- Vetter, H. & Früchtenicht, K. 1979. Berücksichtigung von Standolrt. Bodenzustand und Wirtschaftsbedingungen bei der Auswertung der Bodenuntersuchung. *Landw. Forsch. Sonderheft*. 36:24-36.

Liebig és a magyar tudomány

Bevezetés

Liebig, a Magyar Tudományos Akadémia külső tagja jelentős befolyást gyakorolt egy sor tudomány fejlődésére, mint a kémia, gyógyszeratan, orvostudomány, agrokémia, takarmányozástan, élelmiszerkémia. *Salmon* és *Hanson* (1970) szerint Liebig munkássága olyan vízvonalzó a mezőgazdaságban, mint a keresztény világban a Krisztus előtti vagy utáni időszámítás. Valóban az „Agrikulturkémiaja” olyan viharokat kavart szakkörökben, melyek hatása a mai napig tart. A korszakalkotónak minősített munka jelentősége és kisugárzása talán csak a kortárs Darwin „A fajok eredete”, illetve „Az ember származása” c. munkájához hasonlítható. A Liebig utáni mezőgazdaságban beköszöntött a műtrágyák kora. A gyümölcsöző viták, ill. a liebigi hagyaték sokoldalú pozitívumait igazán az utókor, így a jelen generáció élvezi igazán.

Munkánk célja áttekinteni az elmúlt két évszázad főbb eseményeit, megvilágítani az előzményeket és a liebigi kort, bemutatni e nagy gondolkodó életútjának jelentősebb állomásait. Vizsgáljuk Liebig hatását a magyar tudomány fejlődésére, valamint megkíséreljük összefoglalni munkásságának általános, elvi-módszertani tanulságait. Vagyis azt, hogy mit nyújthat a ma emberének a liebigi szemlélet? Segíthet-e eligazodni napjaink globalizálódó világában? Áldás vagy talán átok ma a Liebig által elindított műtrágya-használat?

Liebig és kora. Előzmények

Liebig (1876) a mezőgazdaság jelentőségét az alábbi szavakkal méltatja: „Nincs olyan tevékenység, mely jelentőségében a mezőgazdasághoz hasonló. A mezőgazdaság állítja elő az ember és állat táplálékát, tőle függ az egész emberi faj jóléte és fejlődése, államok gazdagsága és a kereskedelem. Nincs olyan gazdasági ág, ahol a helyes irányelvek alkalmazása olyannyira áldásos, nagy és döntő hatású lenne.

Franklin (1948) szerint egy angol farmer az 1600-as években kb. 4 hektár földet tudott kezdetleges eszközeivel művelni, míg további 4 ha-t a következő évi vetés alá ugarolt. A 4 hektáron kapott 5-6 t gabonatermés $\frac{1}{4}$ -ét félretette vetőmagnak, másik $\frac{1}{4}$ -ét elvitte a földesúr és az adók. Ami őrlés után maradt, azon tengődött aratásig. Földbe vajt szalmakunyhójának egyik felében lakott családjával, másik felében állatai (tehén, sertés, szárnyasok) kaptak helyet. Mai szemmel szinte érthetetlen, hogyan tudott életben maradni?

Sokan nem is tudtak! Különösen a középkorban. Népszaporodást az élelmiszertermelés korlátozta. Az egyoldalú hiányos táplálkozás és a rossz higiénés körülmények között gyakoriak voltak a járványok. A gyermekhalandóság elérte a 40-50 %-ot, kisebb sérülés vagy fertőzés halált jelenthetett. Az 1300-as években Anglia lakosságának $\frac{1}{4}$ -ét pusztította el a pestis. A sűrűn lakott, higiénés szempontból rosszabb helyzetű városokban esetenként a népesség 90 %-a kihalt. Párizs mintegy 100 ezer lakosából a járványt követően alig 4-5 ezer maradt meg. Európa időnként gyakorlatilag elnéptelenedett, és nemcsak a középkorban!

A 30 éves háború idején (1618-1648) a művelésbe vett mezőgazdasági terület Németországban akkora volt mint a XX. század elején, sőt a falvak száma *Becker-Dillingen* (1934) közlése szerint meghaladta azt. A háború végére a 25 milliós lakosság 4 millióra csökkent. Ezzel ismét kitolódott az élelmiszerellátás összeomlása. Az 1700-as

évek közepére helyreállt Európa népsűrűsége, elérve egyben az élelmiszertermelés korlátait, mert a talajok elszegényedése, kimerülése mindinkább érezhetővé vált.

A németek kelet felé vándorolnak (Schwabenzug nach Osten). Ritkábban lakott termékeny területeket keresnek a Magyar Királyság, Volga és a Fekete tenger melléke, valamint a Baltikum vidékén. Anglia az ipari forradalomba „menekül”. Iparcikkeivel vásárolja meg kívülről az élelme egy részét, nyomorgó munkásságát létrehozva. Az éhező franciák a valós forradalomban keresik a gyógyírt. XVI. Lajos „kenyérlázadásnak” nevezte a forradalmat, amely trónjába és az életébe került.

Szerencsére ekkortájt az ugarba lépett a burgonya, megnövelve az akkori 3-nyomásos gazdálkodás teljesítményét. Éppen az 1745-1774. évek éhínségei gyorsították a burgonya térhódítását és tömeges fogyasztását. Malthus és Darwin tanai is tükrözik az emberiség túlélésért folytatott küzdelmét. Az 1850-es évekig minden évtizedben ismétlődtek a pusztító éhínségek Európában. Liebig mutatott rá egyértelműen az okokra és a kiútra, az évszázados rablógazdálkodás következményeire. Előtte mintegy fél évszázaddal, az 1700-as évek végén, új hajtóerő lépett színre, a tudományos kutatás. A kutatások akkori eredményeit *Liebig* (1840) szintetizálta és a mezőgazdaság szolgálatába állította. Fellendül a helyi trágyaszerek (fekál, szennyvíz, hulladék, csontok, avar) használata és elkezdődik a műtrágyák gyártása. A termések 1850-1880. között 1/3-ával emelkedtek Ny-Európában (*Prjanisnyikov* 1965).

A haladás kezdetben lassú volt, hiányoztak a kísérleti állomások, a megfelelő oktatás és szaktanácsadás, propaganda. A fejlődés azóta felgyorsult, talán túlságosan is, melyre a túltermelés utal. Liebig idejében azonban az éhínség réme még realitás volt Európa számára. Emlékeztetőül: az 1845. és 1846. évi írországi burgonyavész nyomán 275 ezren éhen haltak, további kb. 1 millió ember pusztult el az alultápláltság és a betegségek együttes következményeképpen, míg másik 1 millió az éhezés elől menekülve az Egyesült Államokba vándorolt (*Salmon és Hanson* 1970). Magyarországon az élelmiszertermelés korlátai kevésbé jelentkeztek, hiszen a tatár- és törökidőszak, egyéb háborúk ritkább népességet hagytak hátra. Másrészt talajaink, főként az Alföld vidékén eredendően gazdagabbak voltak és mindenféle trágyázás nélkül termékenyek maradtak. A föld olcsó volt, míg a munkaerő relatíve kevés és drága (*Kádár* 1992).

Liebig előtt *Thaer* (1809-1821) által népszerűsített humuszelmélet uralkodott, mely a maga korában haladónak minősült, hiszen az akkor rendelkezésre álló istállótrágyát és egyéb gazdasági trágyaszereket igyekezett hasznosítani. Hirdette, hogy a „Humusz a talaj legfontosabb alkotórésze és termékenységének hordozója, mely szerves trágyázással szaporítható, növelhető.” Az általánosan uralkodó felfogás szerint a növénynek vízre és humuszra van szüksége. Így pl. még korábban a nagy francia botanikus/élettanos *de Saussure* (1804) sem zárta ki egyértelműen, hogy a növényből visszamaradó hamuanyagokat a növény termeli, vagy véletlenül kerülnek a növénybe a talajból. Amikor 1800-ban a Berliini Tudományos Akadémia pályázatot írt ki, hogy „Miből és hogyan jön létre a növényi hamu?”, a nyertes pályamunka a „földes alkotórészeket” a növényi életműködés termékének minősítette.

1840-re azonban már sok adat gyűlt össze. Növényelemzéseket, homokkultúrák növénykísérleteket végeztek, lassan tisztázódtak az élettani jelenségek alapjai. Liebig rendszerezte a sok, gyakran egymásnak ellentmondó eredményt és megvilágította a lényegét: a N és CO₂ alapvetően a levegőből származik, az ásványi elemekből álló hamu pedig a talajból. Utóbbi pedig nem szennyezés a növényben, hanem a talajerő, ami fogy,

kimerül, ezért pótolni kell. A N persze döntően nem a levegőből származik, kivéve a pillangósok N-kötését, mely ekkor még nem volt ismert. *Liebig* (1876) utóbb elfogadta, hogy a növényi N-forrásul szolgáló $\text{NO}_3\text{-N}$ és $\text{NH}_4\text{-N}$ „ásványi elemek”.

Liebig élete, tevékenysége

Liebig 1803-ban született Darmstadtban. Apja gyógyszer és festék kiskereskedő valamint előállító. Liebig 8 évesen a helyi „gimnázium” tanulója lesz Ludwig bátyjával együtt.

Az ókori latin és görög nyelv oktatása (főtárgyak) untatták, így az iskolát 14 éves korában otthagyta. A gyakorlati dolgok érdekelték, apja műhelyében szeretett dolgozni. Sok anyagot ismert formája, színe, szaga, oldhatósága vagy éghetősége tekintetében. Szívesen látogatta a város iparosait, azok műhelyeit. Még a gimnáziumban megkérdezte igazgató tanára: „Mi lesz belőled, fiam? Szüleid és tanáraid szégyene vagy, az iskola nem érdekel.” Kémikus – válaszolta Liebig. Erre nevetés tört ki az osztályban, mert senki sem tudta, mi az a kémia – írja később önéletrajzában Liebig. (In: *Strube* 1998).

El is ment a közeli Heppenheimbe gyógyszerésztanulónak, ahonnan 10 hónap múltán elküldték, mert kísérleteivel robbanást okozott. Később kémiát tanult Bonnban és Erlangenben, itt megjelenik 19 éves korában első közleménye a durranóezüstről (Knallsilber, ezüstfulminát). 20 évesen doktorál „Az ásványi kémia és a növényi kémia viszonya” c. munkájával, mely a szervetlen és szerves kémia összefüggéseit tárgyalja. Ezután a hesseni kormány ösztöndíjával Párizsba megy Thénard, Dulong és Gay-Lussac laboratóriumaiba. A higanyvegyületekről tart előadást a Párizsi Királyi Akadémián, ahol jelen van Humboldt is, aki gratulál a fiatal vegyésznek és tovább egyengeti tudományos pályáját (*Liebig* 1840-1876a).

Hazatérve, 21 évesen a Giesseni Egyetem kémia professzora lesz (Humboldt javaslatára) és kiépíti laboratóriumát. Kémia mint önálló tárgy Giessenben nem létezett. Néhány orvos, gyógyszerész, kereskedő/iparos foglalkozott vegyészettel. Liebig oktatói, tudományszervezői zsenijére utal, hogy 20 év múltán az egész akkori művelt világ itt akart kémiát tanulni. Gay-Lussac is odaküldi fiát Párizsból, ahol svájci, lengyel, norvég, indiai, holland, mexikói, belga, olasz, orosz, amerikai és erdélyi diákok is tanulnak. Charles Boner angol író említi (In: *Finlay* 1998), hogy Kelet-Európán átutazva 1863-ban részt vett Erdélyben a Liebig-tanítványok egy találkozásánál. Munkáiból állítólag magyarra is fordítottak. Tanítványai hazatérve itt is népszerűsítették a kémiát. *Carlo Paolini* (1968) azonban, aki utólag rendszerezte és gyűjtötte Liebig publikációit megjegyzi, hogy nem ismeri Liebig nagyobb munkáinak magyar fordítását. Valószínű, hogy ezek a kisebb példányszámú fordítások elkallódtak az idők folyamán.

Liebig 1837-ben, első angliai útján előadást tart a szerveskémiáról a British Association for the Advancement of Science társaság ülésén Liverpoolban. A már jó nevű vegyész itt felkéri, hogy a szerveskémia jelenkori állásáról készítsen tanulmányt, jelentést. A megbízást Dumas francia kémikussal vállalja el, Liebig a mezőgazdaság és a növényélettan területét dolgozza fel. Műve az „Agriculturchemie” rövid néven vált ismertté és 1840-ben jelent meg németül, angolul és franciául szinte egy időben. A német változat „Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie” címet viselte (*Liebig* 1840).

Liebignél együtt jelenik meg a talaj, növény, állat (ember), amit ma táplálékláncnak nevezünk. Az ásványi és szerves világ egységét kémiai alapon mutatja

be, együtt vizsgálja a levegő-víz-talaj-élővilág jelenségeit és anyagforgalmát, melyet ma bioszférának nevezünk. *Sigmond* (1904) hangsúlyozza, hogy Liebig az akkori kémia, élettan és agronómia tudományának eredményeit szintetizálva alkotta meg „Agrokémiáját”, mely igazi robbanást idézett elő az uralkodó szemléletekben. A kémia mennyiségi törvényeit alkalmazta a jelenségek magyarázatára és ezzel megteremtette az agrokémiát, az első egzakt mezőgazdasági tudományt.

Boussingault (1802-1882) ezalatt szorgalmasan kísérletezik francia Elzászban, újabb eredményeit 1851-ben teszi közzé könyv alakban. Adatai Liebig elméletét jórészt alátámasztják, a N-nel kapcsolatos nézeteit viszont megkérdőjelezzik. Nem minden növény képes N-igényét a levegőből kielégíteni. Az angliai Rothamsted-ben Lawes és Gilbert 1843-ban kísérleti állomást hoz létre a Liebig-féle és saját műtrágyák kipróbálására. Eredményeiket interpretálva szintén Liebig vitapartnerei lesznek, főként a N-kérdést illetően. Liebig úgy vélte, hogy a levegő $\text{NH}_4\text{-N}$ és $\text{NO}_3\text{-N}$ készlete elegendő N-forrást jelenthet. Műtrágyájából a N hiányzott, a P és K műtrágyákat összeömlesztette, hogy K kimosódást megakadályozza. A „Liebig-féle” műtrágya kevésbé bizonyult hatékonynak, melynek oka csak évtizedek múlva tisztázódott (*Russel 1914*).

Németországban ellenzői a humuszelméletet védő „hohenheimiek”, akik 1851-ben a Lipcse melletti Möckernben hozzák létre Vegykísérleti Állomásukat. Vezetőjük rövidesen Emil Wolff lett. Az 1880-as években már mintegy 100 kísérleti állomás létesült Európa-szerte. A felpezsdült kísérleti és kutatómunka eredményeit évenkénti vándorgyűléseken, kísérleti bemutatókon vitatták meg. Mindez segítette az egységes kísérleti módszertan kialakulását, mint a tervezés, kiértékelés, talaj- és növényanalízis, létrejön a publikációs nyelv, létrejönnek a szakfolyóiratok. Megbízás alapján Wolff összegyűjti pl. a publikált hamuelemezések adatait, melyekből kiderül, hogy Liebig feltevésével ellentétben a hamuösszetétel közvetlenül nem alkalmas a trágyaigény megállapítására.

A tápelemigény és a trágyaigény fogalma tehát elválik egymástól. A tápelemigényt homok- és vízkultúrákban kezdik ellenőrizni az 1850-1860-as éveket követően *Sachs* (1873, 1887) és *Hellriegel* (1898) által kidolgozott technikával. Az agronómus *Fraas* (1870) *Wurzelleben der Culturpflanzen* c. könyvében nagyszámú vizsgálattal igazolja, hogy a gyökér strukturálisan fajoként eltérő és aktív elemfelvételre képes. Vannak sekélyen gyökerező, gyenge felvételt mutató fajok, melyek bőséges felvehető készletet igényelnek. Egyesek jól hasznosítják a talaj szerves anyagait („humusznövények”), míg mások a nyers törmelékeket („kötörők”). A növények fejlődése nem arányos a talajban vagy trágyában lévő felvehető elemek mennyiségével, ahogy Liebig állította. A humuszelméletről ekkor már szó sem esik, azt már az ásványi elmélet elsöpörte. Liebig ellenfelei főként a „visszapótlás” tanát, ill. N-elméletét támadják. A hatalmas kísérleti munka valójában a liebigi tanok hiányosságait pótolja.

Liebig (1842) második könyve, mely röviden az Állatkémia (Tierchemie) néven vált ismertté az 1840-ben napvilágot látott Agrokémia (Agricurchemie) után, a légzés, táplálkozás, mozgásjelenségek, ill. általánosan az állati anyagcsere folyamatainak kémiai leírását adja. Az élettani folyamatokat megkísérli a kémia nyelvén magyarázni. Mindez elősegítette, hogy a takarmányozástan és az orvostudomány is új utakon induljon el. Liebig könyvét Berzeliusnak ajánlotta „szívélyes jóindulata és őszinte nagyrabecsülése jeléül.”

A lézés és táplálkozás” c. fejezetében olvashatjuk a szerves táplálóanyagokra vonatkozó kitétel: „Az állati és emberi táplálék két osztályba sorolható, úgy, mint N-tartalmú és N-mentes. Az első rendelkezik azzal a képességgel, hogy a vérbe jusson. A másik nem. A vérképzésre alkalmas táplálékból képződnek a szervek, a másik pedig az egészséges állapot fenntartásához szükséges lézést biztosítja. A N-tartalmú fehérjéket plasztikus tápláléknak (plastische Nahrungsmittel), a N-mentes szénhidrátokat, zsirokat lézési anyagoknak (Respirationsmittel) nevezzük.”

Liebig helyesen utal arra, hogy a hőtermelést O₂-felvétel és CO₂-termelés kíséri. Szerinte azonban a lézési folyamat eltérő az életfönntartás szintjén élő, illetve a termelő állatokban. A lézés szénhidrátot és zsirt használ, míg a munkavégzés főként fehérjét. Ha kevés a fehérje a táplálékban, akkor saját izomszöveteit használja el. Extra nehéz munka esetén tehát extra mennyiségű fehérjére van szükség. A felnőtt ember átlagosan 7 órát alszik és 17 órát van ébren folytatja Liebig. Az idős ember fele annyit alszik, ezért fele annyi munkavégzésre képes. Ha többet dolgozik, lefogy. Az újszülött sokat alszik és keveset mozog, így tömege gyorsan nő. A trópuson kevesebbet mozogunk és kisebb az O₂-felvétel, ezért kevesebb táplálékra van szükségünk, mert a táplálékfelvétel a rendszerbe lépő O₂-felvétel függvénye, magyarázza a szerző.

Ma már tudjuk, hogy a hőképzés és a munkavégzés szénhidrátokkal, zsirokkal vagy fehérjével egyaránt biztosítható. A fehérje azonban kevésbé hatékony, mert némely alkotói nem teljesen égnék el a testben. Emellett több hőt termel, melyet nem tudunk munkavégzésre fordítani. A kísérletek is ellentmondanak a feltételezésnek. A N-kiválasztást kevésbé befolyásolja a sport vagy a munkavégzés. Liebig némileg misztifikálta a fehérje, ill. a hús fogyasztását utalva arra, hogy a húsevő ragadozók gyorsak és erősek a növényevőkhöz képest.

Howe (1992) szerint Liebig hibás szemlélete napjaink táplálkozási szokásaiban is tükröződik, annak ellenére, hogy a liebigi húskivonat kimerültség, gyengeség, depresszió elleni hatását nem sikerült igazolni. Helyesen mutatott rá viszont arra, hogy a szénhidrátokból zsir képződik. Libahízalásnál több zsirt találunk a testben, mint a felhasznált takarmányban. A hús valóban fontos és ízletes táplálék, a benne levő zsir lassítja az áthaladást a gyomorban és hosszan tartó jóllakottság, ill. komfort érzését adja. Emellett vitaminok és egyéb hatóanyagok forrása, összetevőinek hatását nehéz szétválaszni.

Liebig úgy gondolta, hogy a testszövetek a vér fő alkotóiból, az albuminból és a fibrinből épülnek fel és ezeket a növények szintetizálják. Növényevők közvetlenül a növényből, ragadozók pedig más állatokból veszik föl és építik be a testükbe. A fehérjék elemösszetétele, egyéb fiziko-kémiai tulajdonságai mint az oldhatóság, koaguláció azonosak a növényi és az állati szervezetben. Ma ismert, hogy a fehérjék aminosavakra esve szívódnak föl és a vér útján szállítva jutnak el azon szövetekhez, ahol új fehérjékké alakulnak. Az idegen fehérje allergiát vált ki, ezért határozzuk meg a vér csoportját transzfúzió előtt. Fehérjeallergia esetén aminosavakkal helyettesíthető a hiányzó fehérje.

A fehérjék tápértékét, ill. minőségét megkülönböztetve ma esszenciális és nem esszenciális aminosavakról beszélünk. Liebig ismerte a leucint, glicint és fölfedezte a tirozint. Tudta, hogy P és S lehet a fehérjékben. Érdekelték az ásványi összetevők: K, Na, P, S, és Cl. Hangsúlyozta, hogy a Na és Cl főként a vérben, P és a K az izomban található. Az agyszövetben sok a P, ezért úgy vélte, hogy a gondolkodáshoz P-ban dús táplálék szükséges („Ohne Phosphor kein Gedanken”). A P-ra valóban szükség van, de

mint utólag beigazolódott a P-dús táplálék semmiféle extra szellemi teljesítményt nem nyújt – jegyzi meg *Howe (1992)*.

Liebig átfogó számításokat is végzett, hogy az élelem tápértékét, ill. annak „mechanikus erejét” megbecsülje annak C, H, és N tartalma alapján és magyarázza az állati mozgás jelenségét, a szerves anyag oxidációját. *Glas (1992)* utóbb arra hívta fel a figyelmet, hogy Liebig pusztán input/output adatokkal dolgozott. Azt vizsgálta, mennyi megy be és mi jön ki. A mérlegek arra azonban nem adnak választ, hogy mi történik a szervezetben. A takarmányérték egyébként sem azonos annak elemkészletével, s az állat nem egy önjáró kályha. Analitikai adatok nem helyettesíthetik a kísérleteket. Ami pedig a liebigi fehérje áthasonulását illeti, ellentétes a napi tapasztalattal is. A szoptatás anyatejet termel tejivás nélkül, ill. kazeint tartalmazó növényi táplálék nélkül. Az újszülött pedig pusztán az anyatej kazeinjából építi testét.

A liebigi módszertan és analitika ugyan zseniális volt és új területeket tárt fel (*Szabadváry 1960*) de következtetései és elméletei gyakorta nem állták ki az idők próbáját. Utalhatunk a fehérje-anyagcsere, a fibrin és az albumin keletkezése, vagy a növénytáplálásban hangoztatott légköri N-források szerepére. Mai szemmel esetenként talán túlságosan is primitívnek tűnhetnek magyarázatai, de elődeihez képest mégis új korszakot nyitott. Hibái döntően abból erednek, hogy nem végzett élettani kísérleteket. Sem növénytáplálási/trágyázási, sem takarmányozástani kísérleteket. És kevéssé tanulmányozta, vagy nem ismerte *Sprengel (1832, 1845)* munkáit, aki kortársként Németországban az agrokémia egyik előfutára volt.

A jelenségek nem magyarázhatók pusztán kémiai folyamatokkal, hiszen élő szervezetekkel dolgozunk. Először kísérletesen kell feltárni a részjelenségeket, azután általánosítani. A liebigi dedukció módszere kevéssé alkalmazható, az általánosból a helyi konkrét viszonyokra nehéz következtetni amikor a rendszerek túl bonyolultak. Liebig időnként túl bátran általánosított mások „megbízható” kutatási eredményeit szintetizálva, és vont le messzemenő következtetéseket. A röviden Állatkémia néven ismertté vált könyve előszavában a következőket írja: „Célom az új kémiai módszerek alkalmazása az élettan és a kórtan területén. Anatómia és a mikroszkópiai kutatások az élet törvényeit nem tudták feltárni, mert azok nem gondolhatók el a kémiai erők pontos ismerete nélkül”.

Liebig nemcsak eredményes volt, hanem sikeres is. Még életében a világ egyik legismertebb emberévé vált. Tanítványai, diákjai talajokat és otthoni növényeket postáztak számára. Elhalmozták ajándékokkal. I. Miklós orosz cár 2 font nyers platinát küldött laboratóriumi célokra. Fogadta Viktória királynő Angliában, III. Napóleon Franciaországban a Párizsi Világkiállítás idején, előadásait hallgatta a bajor királyi udvar több tagja. Tudományos akadémiák tiszteleti tagjaik sorába emelik. A Magyar Tudományos Akadémia külső tagjává 1858-ban választja. Számos kitüntetésben részesül, a bajor király bárói rangot adományoz számára. Neve megjelent Victor Hugo „Nyomorultak”, valamint Turgenyev „Apák és fiúk” c. regényében. Halála után Münchenben márványszobrot, Giessenben és Darmstadtban bronzszobrot állítottak, melyeket nem kísérelt meg senki ledönteni. A Giesseni Egyetemen a Liebigiana Múzeum őrzi laboratóriumát és gyűjti munkáit, gondozza örökségét.

Az élet különös fintora, hogy az a Liebig, aki oly sokat hadakozott a megmerevedett tudományellenes tekintélyek ellen, maga is dogmává válik még életében. Az erjedés és a rothadás folyamatait kémiai alapon magyarázta, a mikroszervezetek

szerepét nem tekintette fontosnak. Amikor a csaknem 20 évvel fiatalabb vegyész, a francia Louis Pasteur az 1850-es évek végén feltárja az erjedés biológiai lényegét és beszámol erről a Párizsi Természettudományi Akadémián, szembekerül Liebig tételeivel, aki ekkor már a kémia pápája.

Pasteur tisztázta, hogy minden bomlás, legyen az erjedés vagy rothadás, bor vagy ecet előállítás, növényi vagy állati szervezetek bomlása, apró élőlények munkájának eredménye. Abból a célból, hogy kísérleteivel meggyőzze Liebiget, 1869. nyarán elzarándokol Münchenbe. Az öreg báró makacsságára jellemző, hogy bár udvariasan fogadja vendégét, nem hajlandó meghallgatni érveit és megtekinteni kísérleteit. „Pasteur úr gombáira csak azért hivatkoznak a mikroszkóppal dolgozó fiatal kutatók, hogy összezavarják a tiszta, klasszikus kémia tételeit. ... Mintha a Rajna vizének sodrát a mainzi vízimalmok lapátkerekeinek tulajdonítaná” – nyilatkozza később (Halász 1976).

Liebig hatása a magyar szakirodalomban

Révai Nagy Lexikona szerint Liebig kémiát népszerűsítő *Chemische Briefe* (1844) kiadása részben magyarul is megjelent 1863-ban. A Bajor Akadémián 1861-ben tartott nagy hatású „Wissenschaft und Landwirtschaft” c. előadása szintén napvilágot látott itthon: „A mezei gazdaság jelen állapota” címmel Pesten 1872-ben. Az „Agricurchemie” c. főműve 9. kiadása halála után jelent meg Zöllner szerkesztésében, melyet 120 évvel később az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete adott ki „Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és a növényélettanban” címmel (*Liebig 1840-1876b, Szerk.: Kádár 1996.*) A „Tierchemie” 1842-ben írott könyvét az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet szintén megjelentette magyar nyelven 165 év után (*Liebig 1842b, Szerk.: Kádár 2007.*)

Megemlítendő *Korizmics – Benkő – Mórocz* (1856) Mezei gazdaság könyve, melyet Stephens Henry „The book of the farm” átdolgozásával jelentettek meg. A könyv Liebig nyomán tárgyalja az ugar, mállás, tápanyagok feltáródása témakörét. *Kodolányi* (1867) Növényboncz-, vegy- és élettan c. tankönyve Liebig nyomán magyarázza a növényi tápelemek lekötődését, feltáródását, felvehetőségét, valamint az ugarolás és a talajkimerülés fogalmát. *Sigmond* (1904) Mezőgazdasági Chemia c. könyvében értékeli Liebig munkásságát, hatását a tudomány fejlődésére, valamint utal tévedéseire. *Sigmond* már történelmi távlatból szemlélhette a liebigi hagyatékot, ő az, aki a hazai agrokémia tudományát világszínvonalra emelte. Írt, olvasott és beszélt németül, franciául és angolul, ismerte a francia de Saussure és Boussingault, valamint az angol Davy, Law és Gilbert munkáit. A *sigmondi iskola* biztosította a liebigi hagyaték kritikai átvételét a hazai irodalomban napjainkig, főként az agrokémia és növénytáplálás területén.

Sigmond (1904) szerint már 1851-ben megjelent J.F.W. Johston könyve

„Földművelési vegytan, földisme és trágyatudomány” címmel Bajnok Vilmos fordításában, mely a liebigi szemléletben íródott. A hazai agronómiai, növénytermesztési és földműveléstani irodalomban átfogóan *Cserhádi* és *Kosutány* (1887) „A trágyázás alapelvei” c. munkájukat követően kap méltó helyet a liebigi tanítás. A szerzők sokoldalúan méltatták Liebig munkásságát, annak hatását az utókorra, kiemelve minden pozitívumát. Azóta egyetlen agronómiai kézikönyvből, tankönyvből sem hiányozhat az utalás Liebigre, aki új korszakot nyitott a mezőgazdaságban. Liebig életútjának főbb

adatait, állomásait az *1. táblázat* tekinti át. Kísérjük meg a továbbiakban összefoglalni azon általános tanulságokat, melyeket a liebigi életmű számunkra nyújthat.

1. táblázat. Justus von Liebig életútja (1803-1873)

1803	Darmstadtban született gyógyszerész/kereskedő családban
1811	Darmstadti gimnázium tanulója (8 éves)
1817	Gyógyszerésztanuló Heppenheim-ben (otthagynva a gimnáziumot)
1818	Kémiát tanul apja üzletében, kísérletezik festékanyagokkal
1820	Kémiát tanul Bonnban, Erlangenben
1822	Első közleménye az ezüstfulminátról (Knallsilber) (Durranoézüst)
1823	Doktorál "Az ásványi kémia és a növényi kémia viszonya" munkával; Hesseni Kormány ösztöndíjával Párizsba megy Gay-Lussac, Thenard, Dulong tanárokhoz, Humboldttal találkozik az Akadémián
1824	Giesseni Egyetem Kémia professzora 21 évesen, (labort alapít)
1825	Rendes professzor lesz, elkezd a kémiai kísérletes oktatást
1826	Megnősül (2 fia és 3 lánya, 1827-1845)
1828	Francia tanulmányút a répacukor gyártásának vizsgálatára
1829	Friedrich Wöhlerrel való együttműködés
1831	5-golyós készülék a szerves analízisre (C, H, O), Liebig-hűtő
1837	Első angliai út és előadás "A szerveskémiáról"
1837	A Svéd Kir. Tudományos Akadémia tagja (Berzelius)
1840	"A szerveskémia alkalmazása a mezőgazdaságban és az élettanban"
1840	Agriculturchemie 1. kiadása franciául, németül, angolul
1842	Tierchemie megjelenése, Chemische Briefe első megjelenése
1845	Örökös bárói rangot nyer (Freiherrenstand-Erhebung)
1852	Giessenből Münchenbe költözik, saját labort/épületet kap
1855	"Die Grundsätze der Agricultur-Chemie" 1. megjelenése
1856	"Elmélet és gyakorlat a mezőgazdaságban" minden világnyelven megjelenik
1858	A mezőgazdaság, ásványi vizek és az élelmiszerkémia felé fordul "Elegem volt a kémiai laboratóriumból, a gyakorlat érdekel"
1858	Magyar Tudományos Akadémia külső tagja
1859	Bajor Kir. Tudományos Akadémia elnökének választják
1865	Szakértői vélemény London szennyvizének mg-i hasznosítására
1873	Elhalálozik Münchenben, családi sírhely a régi déli temetőben
1876	Agriculturchemie 9. átdolgozott kiadása Zöller szerkesztésében (Wien)
1996	Agriculturchemie 9. átdolgozott kiadása Kádár I. szerkesztésében (Budapest)

A liebigi életmű általános (módszertani/elvi) tanulságai

1./ Az alaptudományok, valamint a háttértudományok fejlődését figyelemmel kell kísérni, mert meghatározzák saját szaktudományunk előrehaladását. Az említett tágabb ismeretek, általános kitekintést lehetővé tevő műveltség birtokában lehetünk képesek a mélyebb szintézisre és meglátni olyan összefüggéseket, természeti jelenségeket, melyeket korábban mások nem vettek észre. Amennyiben rendelkezünk ilyen képességgel.

2./ A tudományos haladás nem nélkülözheti a vitákat, hisz a fejlődés útja zsákutcákkal és kudarcokkal van kikövezve. A tudományos viták gyümölcsözőek. Akkor lángolnak fel igazán, amikor igazi áttörés következik be. Utólag megállapítható, hogy a vitában résztvevők mindegyike birtokolta az igazság egy részét. Vagyis senki sem lehet (a jövőben sem) az abszolút igazság birtokában.

3./ A fejlődést egy-egy ember is képes érdemben befolyásolni, kisugárzása óriási lehet. Amennyiben nem a pénz vagy üres hatalomvágy mozgatja, hanem energiáit a céltudatos és szisztematikus tudományos tevékenységnek szenteli. Liebig hitt abban, hogy a békés tudomány megszünteti az éhséget, a háborúk egyik okát. A kiszélesedő nemzetközi tudományos közösségek pedig közelebb hozhatják egymáshoz a nemzeteket, az erősödő nacionalizmust ellensúlyozva. Kapcsolatait szinte a világ minden táján dolgozó tudósokkal ápolta.

4./ Véleménye szerint nem elég kutatási eredményeket produkálni. A kutató felelőssége kiterjed azok alkalmazására is. Kezdeményeznie kell a jobb eljárások bevezetését az oktatásban, szaktanácsadásban, a gyakorlati életben. A természetet nem csak vizsgálni kell, hanem embertársaink érdekében átalakítani, az életkörülményeket javítani is szükséges. A forradalom hatására, az 1842-48. években kidolgozza a húskivonatok készítésének technikáját, melyek mai megfelelői a Maggi, Vegeta, Knorr, stb. Dél-Amerika, Ausztrália húsfeleslegei így az éhező Európába juthattak, ahonnan korábban csak a bőr érkezett. Az 1 kg húskivonat minden ízt és tápanyagot tartalmaz 32 kg sovány ökörhúsból. Az ipari előállítás nyomán a londoni börzére kerül a „Liebig Extract of Meat Company Ltd.”, mely ma is létező vállalkozás. A hasonló fontosabb felfedezésekről, találmányokról a 2. táblázat tájékoztat.

**2. táblázat. Justus von Liebig (1803-1873)
(Fontosabb felfedezések, találmányok)**

Szerves elementáranalízis továbbfejlesztése (Liebig-hűtő/ 5-Kugel Apparat)
 Izomeria felfedezése Berzeliussal és Wöhlerrel
 Kloroform és az előhívó reagensek fejlesztése (fényképezés)
 Ezüsttükör az akkori mérgező amalgám-tükör helyett
 Acél nemesítése/ötvözése nikkellel
 Mútrágyák mint termésmnövelők ajánlása
 Szuperfoszfát műtrágya kifejlesztése
 Húsfúzió a kolerás betegek táplálására
 A "Liebig-féle húskivonat", valamint a sütőpor mint élesztőpótlék kifejlesztése

5./ Természettudományi kutatásokban meghatározóak a kísérletek és vizsgálatok. Ezek adataira épített Liebig. A hibái is abból eredtek (N-kérdés, merev visszafogás tana, műtrágya fiaszó), hogy maga nem végzett növénykísérleteket. A jelenségek nem magyarázhatók pusztán kémiai folyamatokkal, hiszen talajjal és élő szervezetekkel dolgozunk. Fő közelítési eljárás az indukció, először kísérletesen kell feltárni a részjelenségeket, azután általánosítani. A dedukció kevésbé alkalmazható, általánosból a konkrét helyi viszonyokra nehéz következtetni, mert a módszer túl bonyolult. Liebig időnként túl bátran vont le messzemenő következtetéseket.

Igaz, hogy Liebig idejében még a növénykísérleti technika nem volt kidolgozott. Hiányzott a módszertan, infrastruktúra. Az ismétléses kisparcellás szabadföldi kísérletezés pl. csak a XX. század elejére válik egzakt eszközzé. A N felfedezésétől (Rutherford 1772, In: Jacobson 2002) pedig még több mint egy évszázadnak kell elteltie, míg a növényi N-források kérdését teljeskörűen tisztázzák a XX. század elejére (Beijerinck 1888, 1890). Ez a kémia, biológia, agronómia együttes erőfeszítését követelte nemzedékeken át. Sokan zsákutcába jutottak, rengeteg energiát pazaroltak feleslegesen már bizonyított, vagy elvetett elgondolásokra. A tisztánlátás és a másképpen látás képessége kevesekben adatott meg (3. táblázat).

3.táblázat Előzmények, kortársak, tanítványok, N-kérdés megoldása és a hamuelemek esszencialitása

Előzmények:

Brand (1669) a P, Cavendish (1766) a H, Rutherford (1772) a N, Priestly (1774) az O₂, Davy (1807, 1808) a K, Ca, Mg elemeket fedezi fel. Saussure (1804) bizonyítja a C, H, O, N elemek esszencialitását, bemutatva forgalmukat a növényben. Boussingault (1830) egzakt mennyiségi kísérletes módszerével megalapozza a tudományos agronómiát, bevezeti a tápelem-mérlegeket. Sprengel (1832) Agrokémiája mint előfutár.

Kortársak, tanítványok:

- 1./ Thaer (1752-1828): a modern agronómia megalapítója, humuszelmélet kidolgozása
- 2./ Berzelius (1779-1848): atomsúlyok, valamint számos vegyület összetételének meghatározása, Lehrbuch der Chemie (1808), Jahresberichte (1821-1846)
- 3./ Thénard (1777-1857): Liebig tanára Párizsban; B, H₂O₂ felfedezése
- 4./ Gay-Lussac (1778-1850): Liebig tanára Párizsban; vízelemzések, gáztörvények
- 5./ Geiger (1785-1836): Liebiggel szerkesztik az „Annalen der Pharmacie” kiadványt
- 6./ Merck (1794-1855): Liebiggel szerkesztenek, világhírű gyógyszergyár megalapítója
- 7./ Wöhler (1800-1882): Liebig barátja, karbamid szintézise, MTA kültagja 1881-ben
- 8./ Fraas (1810-1875): Liebig ellenfele, kísérleti állomást alapít München mellett, liziméter bevezetése
- 9./ Wolff (1818-1896): Liebig ellenfele, kísérleti állomást alapít Möckernben
- 10./ Pasteur (1822-1895): Liebig nem fogadja el az erjedés bakteriális elméletét
- 11./ Gilbert (1817-1901): Liebig tanítvány, a Rothamstedi Kísérleti Állomás vegyésze
- 12./ Voszkreszenszkij (1809-1880): Liebig tanítvány, Mengyelejev tanára
- 13./ Mengyelejev (1838-1907): Periodikus rendszer megalkotója, kémikus, agrokémikus

A N-kérdés végleges megoldása:

- 1./ Hellriegel 1886-ban felfedezi a pillangósok gümóbaktériumait, melyek vízzel kioldhatók és velük a steril homok beoltható. Répakísérleti Állomás (K-hiány diagnosztizálása)
- 2./ Beijerinck 1890. körül izolálja a szimbiota N-kötő baktériumokat
- 3./ Vinogradszkij 1893 körül felfedezi a szabadon élő N-kötő baktériumokat
- 4./ Prjanisnyikov 1900 körül átfogóan tisztázza a nitrát és ammónium táplálás elméletét

Fontosabb hamuelemek esszencialitásának bizonyítása:

A P, K, Ca, Mg, Fe nélkülözhetetlenségét a növényi táplálkozásban az 1860-as években végzett homok- és vízkultúrák kísérletek bizonyították be véglegesen Sachs, Knop és Ville nyomán.

6./ A „mezőgazdasági kémia” tág fogalom. Elkülönül a növénytáplálással foglalkozó ága (élettan, talajtan, agronómia segédtudományaira támaszkodva), az állati táplálással foglalkozó ága (állatélettanra, takarmányozástanra támaszkodva), valamint az élelmiszerkémia és technológia. Liebig mindhárom tudományág klasszikusa. Hazai viszonylatban *'Sigmund (1904) Mezőgazdasági Chemia* könyve tekinti át hasonló módon a növénytáplálás, talajtan, takarmányozástan és élelmiszerkémia területeit e tudományágak hazai klasszikusaként. A mezőgazdasági kémia egésze a XX. század eleje óta már végérvényesen szétvált, egy ember által nem művelhető és nem is tekinthető át. Mindez a jelenkor kutatói számára igazi hátrányt jelent, nélkülözzük az áttekintést a rokontudományokban, az analógiák adta előnyöket nem tudjuk kihasználni.

7./ Végül. A legegyszerűbb megközelítés, logika és eljárás a célravezető. A nyakatekert elméletek, kísérleti technikák, modellek félrevezetőek. Fontos az egyszerű kísérleti módszertan kritikai szemlélettel és újszerű megközelítéssel. Vannak kulcskérdések, amelyek a fejlődés, előrehaladás láncszemei. Azokkal kell foglalkozni.

Megemlíthető, hogy az angolszász országok mindig fenntartásokkal fogadták a liebigi „visszapótlás” elvét. A trágyaigényt döntően a kísérletekben mért trágyahatások és a talajvizsgálat adataira építik ma is. Mindez jobban megóvta ezen országokat a túltrágyázás gyakorlatától, mert a visszapótlás túltrágyázásra ösztönözhet az alábbi okokból eredően:

- nem veszi figyelembe a talajból, ill. a légköri terhelésből eredő forrásokat;
- a növényi felvételt tükröző „fajlagos elemtartalmak”-at beépíti a szaktanácsadásba;
- hagyományosan alábecsüli a trágyák érvényesülését, hasznosulását.

A talaj és a légkör jelentős tápanyagforrás. Kukoricatermő hazai talajainkon pl. évente kb. 100 kg ha⁻¹ N-t szolgáltat a termőhely. A 10 t szemterméshez mintegy 250 kg N-t épít földfeletti testébe a kukorica, melyet általában 150 kg ha⁻¹ körüli N-trágya alkalmazásával elérhetünk normál évjáratban (Mezőföld, Debreceni Löszhátak). Az 1900-as évek elején a szem : melléktermés aránya 1:2 körüli volt, ma 1:0.5 – 0.6 körülire tehető a 10 t/ha felett termő hibrideknél. A „harvest index” javult, így a fajlagos, 1 t szem + a hozzá tartozó melléktermés elemtartalma lecsökkent. Kombájn betakarításnál melléktermés a táblán marad, így pl. a kálium 4/5-e nem távozik. A szaktanácsadásban e körülményeket gyakran nem veszik figyelembe (*Kádár 2003*).

Ehhez járult még az a vélemény, hogy az adott P-trágya maximum 20 %-a érvényesülhet a növényi felvételen. A N esetében 50 %-os átlagos hasznosulással számoltak. Ezeket az eredményeket a szabadföldi trágyázási kísérletekben kapták az ún. „különbség módszer”-rel.

A trágyázatlan kontrollhoz viszonyítva terméstöbbletek alapján mérték ugyanis a tápelemek érvényesülését. E logika szerint többet kell trágyázni, mint a növény tényleges felvétele, hiszen a tápelemek lekötődnek, kimosódnak, elillanhatnak és csak egy kisebb részük mutatható ki a terméstöbbletekben. Nem vették figyelembe, hogy a talajban maradt tápanyagok a későbbi években hasznosulhatnak. A túltrágyázás akkor következett be, amikor a műtrágyák szinte korlátlanul elérhetőkké váltak. Mindezt elősegítette a 40 % körüli állami dotáció, a termékek korlátlan piaca keleten, valamint a környezetvédelmi szemlélet hiánya.

A mezőgazdaságban ténylegesen meg kell különböztetnünk a Liebig előtti és utáni korszakot. Az újkor Európa mezőgazdaságában valójában az 1800-as évek II. felében

köszöntött be. Vannak, akik visszafordítanak a történelem kerekét a középkorba, dogmatikus műtrágyaellenes „biológiai” irányzatot képviselve. Elutasítva a műtrágyát, annak minden formáját. A szerves trágyák azonban nem csodaszerek, a növény ásványi elemekkel táplálkozik. Az istállótrágya is ásványi összetevőkre bomlik a talajban, hogy a növény hasznosíthassa. Bűnös utópia azt állítani, hogy a világ műtrágyák nélkül jobb, egészségesebb volt. Amennyiben ténylegesen a hiányzó elemeket pótoljuk, egészségesebb talajéletet, rajta termő növényzetet, teljesebb értékű állati és emberi közösséget kapunk. A humusz és az ásványi elemek összefüggenek. A műtrágya, ill. az ásványi só is humuszképző anyaggá válik a növény közreműködésével. A szakszerűtlen trágyázás, műtrágyával vagy szerves trágyákkal egyaránt, természetesen környezeti károkat okoz. A szakszerű műtrágya-használat azonban a talajtermékenység megőrzésének eszköze.

Összefoglalás

Liebig és a magyar tudomány kapcsolatát vizsgálva áttekintettük az elmúlt két évszázad tudománytörténeti szempontból fontosabb eseményeit, a mezőgazdasági kémia tudományának kialakulását és előzményeit. Bemutattuk a liebigi kort és e nagy gondolkodó életútjának jelentősebb állomásait. Összefoglalva a liebigi életmű máig ható tanulságait, az alábbi megállapításokat tettük:

Az alap/háttér tudományok eredményeit figyelemmel kell kísélnünk, mert megszabják saját szaktudományunk fejlődését. A haladás útja azonban zsákutcákkal és kudarcokkal van kikövezve, ezért nem nélkülözheti a vitákat. A tudományos viták gyümölcsözőek és akkor lángolnak fel igazán, amikor áttörés előtt állunk.

A fejlődést egy-egy ember is képes érdemben befolyásolni, kisugárzása óriási lehet, amennyiben nem a pénz vagy üres hatalomvágy mozgatja. Energiát pedig hajlandó a céltudatos tudományos tevékenységnek szentelni. A kutató felelőssége ugyanakkor kiterjed kutatási eredményeinek gyakorlati alkalmazására is.

Természettudományi és agrárkutatásokban meghatározóak a szisztematikus kísérletes vizsgálatok. Liebig hibái jórészt abból eredtek, hogy nem végzett növénykísérleteket. Igaz, hogy a kísérleti technika ekkor még nem volt kidolgozott. A mai kutató számára viszont igazi hátrányt jelent, hogy a mezőgazdasági kémia egésze egy ember számára már nem tekinthető át, így nélkülözzük az analógiák adta előnyök kihasználását. Még kevésbé tudjuk pl. a talaj-növény-állat-ember tápláléklánc, vagy a földi bioszféra működését átfogni, megérteni és ebből adódóan globális felelősségünket tudatosítani. Mindez Liebig és kora klasszikusainál egységes szemlélet része, munkáik tanulmányozása ebből adódóan minden generáció számára alapvető marad.

Irodalom

- Becker-Dillingen, J.:* 1934. Handbuch der Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Paul Parey Verlag, Berlin.
- Beijerinck, M.W.:* 1888. Die Bakterien der Papilionaceenknölichen. Botan. Ztg. 46:725-735.
- Beijerinck, M.W.:* 1890. Künstliche Infektion von Vicia faba mit Bacillus radicicola. Bot. Ztg. 48:837-843.
- Cserhádi S. – Kosutány T.:* (1887) A trágyázás alapelvei. Orsz. Gazd. Egyesület. Budapest.
- Finlay, M.R.:* 1998: Justus von Liebig and the Internationalization of Science. Berichte der Justus Liebig Gesellschaft zu Giessen. 4:57-76.
- Franklin, T.B.:* 1948. History of Agriculture. G. Bell and Sons Ltd. London.
- Fraas, C.:* 1870. Wurzelleben der Culturpflanzen. Universitätsdruckerei. München.

- Glas, E.* (1992): The Liebig-Mulder controversy on the method of physiological chemistry. In: *Ergänzungsband der Tier-Chemie*. 107-124. Agrimedia. Frankfurt/Main.
- Halász Z.*: 1976. *Így élt Pesteur*. Móra Könyvkiadó. Budapest.
- Hellriegel, H.*: 1898. *Die Methode der Sandkulturen*. Arb. Deutsch. landw. Ges. Heft 34.
- Howe, P.E.* (1992): Liebig and the chemistry of animal nutrition. In: *Ergänzungsband der Tier-Chemie*. 95-106. Agrimedia. Frankfurt/Main.
- Jacobson, M.Z.* (2002): *Atmospheric Pollution. History, Science and Regulation*. Cambridge University Press. Cambridge. U.K.
- Kádár I.*: 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Kádár, I.* (2003): Liebig és a magyar agrokémia. *Agrokémia és Talajtan*. 52:223-234.
- Kodolányi A.*: 1867. *Növényboncz- vegy- és élettan különös tekintettel a növénytermelésre*. Kocsi Sándor Nyomda. Pest.
- Koriznics L. – Benkő D. – Morocz I.*: 1856. *Mezei gazdaság könyve*. III. kötet. Stephens Henry „The book of the farm” c. munkája nyomán. Herz János Nyomda. Pest.
- Liebig, J.*: 1840. *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. Braunschweig. Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
- Liebig, J.*: 1842. *Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Physiologie und Pathologie*. Braunschweig. Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
- Liebig, J.* 1842b: A szerveskémia alkalmazása az élettanban és a kórtanban. Szerk: Kádár I. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest. 2007.
- Liebig, J. v.*: 1876: *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. 9. Auflage. Ed.: Zöllner, Ph. Braunschweig. Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
- Liebig, J. v.*: 1840-1876b: *Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és a növényélettanban.. Szerk.: Kádár I. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest. 1996.*
- Paolini, C.*: 1968. *Justus von Liebig. Eine Bibliographie sämtlicher Veröffentlichungen*. Carl Winter Universitätsverlag. Heidelberg.
- Prjanisnyikov, D.N.*: 1965. *Izbrannüe szocsinenija*. Tom. 1. Agrohimiya. Izd. „Kolosz” Moszkva.
- Russel, E.S.*: 1914. *Boden und Pflanze*. Verlag von Theodor Steinkopf. Dresden und Leipzig.
- Sachs, J.* 1887. *Vorlesungen über Pflanzenphysiologie*. 2. Neu bearbeitete Auflage. Wilhelm Engelmann. Leipzig.
- Sachs, J.* 1873. *Lehrbuch der Botanik*. 3. Auflage. 1. Buch. Wilhelm Engelmann. Leipzig.
- Salmon, S.C. – Hanson, A.A.*: 1970. *A mezőgazdasági kutatás elméleti és gyakorlati problémái*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Saussure de, Th.* 1804. *Recherches chimiques sur la végétation*. Gauthier – Villars. Paris.
- 'Sigmund E.*: 1904. *Mezőgazdasági Chémia*. Kir. Magy. Természettudományi Társulat. Budapest.
- Sprengel, C.*: 1832. *Chemie für Landwirte, Forstmänner und Kameralisten*. Paul Parey Verlag. Berlin.
- Sprengel, C.*: 1845. *Die Lehre vom Dünger*. 2. Aufl. P. Parey Verlag. Berlin.
- Strube, W.*: 1998. *Justus Liebig. Eine Biographie*. Sax-Verlag. Beucha.
- Szabadvány F.*: 1960. *Az analitikai kémia módszereinek kialakulása*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Thaer, A.*: 1809-1821. *Az ésszerű mezőgazdaság alapjai. A trágyázás tanja*. Szerk.: Kádár I. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.

Az élelmiszerválság és az agrártudomány (Szemle)

A 20. század II. felében a mezőgazdaság fejlődése vitathatatlanul sikeres volt a világ nagy részén, hiszen élelmiszer-bőséget teremtett mérsékelt árakon. Árnyoldala, hogy az éhséget számos fejlődő országban nem volt képes felszámolni. Az éhezők száma a 800 milliót ma is meghaladja a Földön és ez a szám feltehetően drasztikusan nőni fog. Sőt, láthatóan a fejlett gazdag országokban is jelentős rétegek alultápláltak vagy éheznek (munkanélküliek, otthontalanok, nyugdíjasok egy része). Az étletlenül optimális, minőségi tápláltság valójában az emberiség nagyobb felének nem adatik meg.

A termesztett növények ásványi elemhiánya egyre több elemet érint. Ma már nemcsak a nitrogén, foszfor és kálium elemek terén gyakori a nem kielégítő ellátottság. Világméretet öltött a gabonafélék Zn-hiánya (Anatólia, Dél-Európa, USA, India). Ismert Skandinávia Se-hiánya. Ugrásszerűen megnőtt a kénhiány számos régióban, mivel mérséklődött a kén ipari emissziója. És a sort folytathatnánk egy tucat mikroelemmel, különösen a kertészeti kultúrákban és a belterjesen hasznosított legelőkön, gyepen. Az egyoldalú és tartós NPK műtrágyázás ugyanakkor drasztikus beavatkozást jelent a talajba. Megváltozik egy sor elem növényi felvétele az elemek közötti antagonizmusok és szinergizmusok nyomán. A talaj-növény-állat-ember sorsa összefügg, a talaj hiányosságai a rajta termő növény és az azt fogyasztó állat és ember egészségén tükröződik (*Kádár 1992, 1995, Alloway 2004*).

Az ásványi elemek élettani funkciókat szabályoznak, a hiányuk vagy túlsúlyuk hiány- vagy túlsúlybetegségekhez vezethet a humán populációban is. Egyre nehezebb feltárni a minőséget befolyásoló, ill. terméslimitáló tényezőket. A növények, állatok tápláltságának irányítása átfogó tudományos felkészültséget és hatalmas tudományos kísérleti háttérrel igényel, mellyel ma egyre kevésbé rendelkezünk. Mintegy két tucat elem sorsát kellene figyelmekkel kísérnünk a talaj-növény-állat rendszerben. Nem ismertek valójában az élettani, agronómiai, környezeti összefüggések és kölcsönhatások. Sok tekintetben alapvető ismereteket, ahogyan a múltban úgy a jövőben is, a tartamkísérletekből nyerhetünk. A kapott ismeretek bázisán fejlődhet tovább a kutatás, oktatás és gyakorlati szaktanácsadás. Ezzel alapozható meg a racionális gazdálkodásunk, környezetvédelmünk, az ország anyagi jóléte és biztonsága (*Kádár 1993, Kádár és Szemes 1994*).

A kenyér és a halak megsokszorozásának bibliai csodáját a mezőgazdaság csak akkor tudja folytatni, ha az előttünk álló óriási kihívásoknak elébe megyünk. Az élelmiszer termelésén túl az energiatermelés is feladatunkká vált. Becslések szerint, figyelembe véve a bioenergia-termelés szükségleteit, a fő gabonafélék, mint a búza, rizs, kukorica iránti igény évente 1,5 %-kal nőhet, miközben a termőföld területe csökken. Ebből adódóan (ezt ellensúlyozandó) felgyorsul majd a marginális területek, természetes őserdők, szavannák, vizes élőhelyek pótlólagos művelésbevonása, környezeti tisztítást és a biodiverzitást csökkenését kiváltva (*Cassman és Liska 2007*).

Az energiakrízis lassan állandósul, a szituáció megváltozott. Az élelmiszer és az energia összefügg, termelésük versenyhelyzetet teremt a mezőgazdaságban. A változások lélegzetelállítóan gyorsak, így nehéz általánosítani, ill. megbízható következtetésekre jutni. Az USA-ban pl. az etanol célú kukorica-felhasználás 2005 és 2006 között, 1 év alatt 1/3-ával nőtt (*Thompson 2006*). Ez rossz hír a gabonaimportőr országoknak, a szegény

régióknak, akik nem tudják megfizetni az importot. Mérséklődtek az élelmiszerkészletek, segélyalapok. Az élelmiszerbiztonsággal kapcsolatos aggodalmakat növeli a biotechnikai haladás, a környezeti szennyeződés hatása és a globális éghajlatváltozással összefüggő bizonytalanság is. Megújuló energia (bioenergia) termelése termőföldet igényel. *Horn (2008)* szerint USA az üzemanyag szükségletének 10%-át a kukorica termelésének 52%-ával válthatná ki. Az EU-ban reálisan 5-6%-ot lehetne pótolni a tartalékföldek, pihentetett területek ilyen célú igénybevételével.

Növelnünk kell az élelmiszertermelést, mely növekvő tőkebefektetést, nagyobb tudást, kutatási háttérrel feltételez. Valójában azonban hiányzik ez a háttér még a fejlett országokban is. Leépült, hiszen átmenetileg (relatív) élelmiszerbőség lépett fel (USA, EU). Az agrárkutatás kikerült a figyelem középpontjából. A fejlődő világban is csökken a mezőgazdasági munkaerő, tért hódít a városiasodás. A rohamosan terjeszkedő városok gyakran a legtermékenyebb síkságokat, talajokat falják fel. És nemcsak a talajokat, hanem a víztartalékokat is, melyek lehetővé tennék az öntözést. Új divatos irányzat jelent meg, mely a prófétáik szerint minden gondját megoldja az emberiségnek, ez a biotechnológia.

A döntéshozók, politikusok kutatási prioritásait döntően a biotechnológiai ipar érvei határozták meg. A jól működő agrárintézményektől elvonták a pénzt, a fejlődés lehetőségét. Pedig az általuk kidolgozott alapokra, eljárásokra épült hazánkban az 1960-1990. évek látványos fejlődése, a főbb kultúrák termésének megkétszereződése, megháromszorozódása, az olcsó és bőséges élelmiszerellátás. Milliárdok árán két új kutatóközpont is épült (Szegeden, majd Gödöllőn). A biotech próféták azt hirdették az 1970-es évek elején pl., hogy a búza is nitrogént fog kötni a levegőből rövidesen. Nem lesz szükségünk műtrágyára. Kb. 10 évenként elhangzott, hogy a cél közel van.

Már nem hallunk újabban erről a csodáról. Új ígéreteket hallunk: a GMO növények legyőzik majd az aszályt, betegségeket és soha nem látott terméseket adnak majd. Megdöbbenő, hogy az MTA vezetése 2006-ban egy titkos tervezetet készített abból a célból, hogy az agrárkutató intézeteit feláldozza a biotechnológia oltárán. Ez lett volna az „akadémiai reform”? A terv nyilvánosságra került és meghiúsult, de tükrözi a tudománypolitika egyes képviselőinek szűklátókörűségét. A biotechnológia, ahogy a nevében is olvasható, a biotechnológiai ipart szolgálja ill. annak édesgyermeké. Finanszírozása alapvetően az ipar feladata lenne, melyet a biotech ipar az állami, sőt akadémiai költségvetésre próbál áthárítani az agrártudományok nem titkolt felszámolása árán is (*Darvas 2007*).

Maene (2007) szerint lassan a politikusok is rádöbbennek arra, hogy túl sok tojás van a biotech kosárban, miközben az égetően fontos kutatások lehetőségei beszűkültek világszerte. A biotechnológia egyáltalán nem csodaszer. Valójában nem rendelkezünk olyan bizonyítékokkal, melyek ellenőrzött tudományos közleményekben igazolnák a reklámozott terméstebbleteket, a nagy genetikai potenciált és az aszálytűrést. *Cassman és Liska (2007)* megjegyzi... „valószínű, hogy a termések a következő 10 évben sem nőnek érdemben, amennyiben nem indulnak kutatások a terméslimitáló tényezők megismerésére, innovatív talajművelési és növénytermesztési eljárások kidolgozására.”

Közben a pályázati pénzek nagyobb része továbbra is biotech cégek zsebébe vándorol. Egyes vélemények szerint hasonló a helyzet Magyarországon is (*Lázár 2007, Bodoky 2007*). *Fribourg (2005)* arra hívta fel a figyelmet, az USA Mezőgazdasági Minisztériuma vizsgálata szerint a növénykutatásra szánt támogatás jelentős hányadát

2002-2004. között nem az agrárintézmények kapták. A 7 kutatási témából 5 téma támogatásának 91 %-a molekuláris genetikára jutott. Ugyanakkor Nebraska államban pl. a kukorica szaktanácsadásának ajánlásai a nitrogén esetében 30, a foszfor és kálium esetében 50 éves eredményekre épülnek. Nem ismert az újabb fajták, energianyerés céljából termesztett ún. „energianövények”, gyógyhatású élelmiszer-növények stb. igénye. Ezzel a problémával Magyarország is szembesül.

Még a privát szféra is mérsékelte a kutatásra szánt összegeket, mint pl. a mezőgazdaságot szolgáló kémiai ipar. A kutatás-intenzív növényvédelem korábban a forgalmának 10, most 7,5 %-át fordítja erre az USA-ban. A privát szféra kutatási prioritásai azonban mások, mint a közösségi, állami szféráé. A profitot szolgálja. A műtrágyagyárak, itthon is, megszüntették a kísérletek támogatását. Valójában nincs is gazdája az agrárkutatásnak. Az 1960-as évektől kormányprogramok indultak létrehozva a megfelelő infrastruktúrát, kísérleti kutatói, oktatói bázist, szaktanácsadó intézményeket. Mindmáig a legjobb befektetésnek minősült és sokszorosan megtérült a következő évtizedekben. Most a leépítése történik mindennek. Feléljük azt a 100 milliárdos nagyságrendű tőkét is, melyet talajainkba fektettünk termékenységüket, tápanyagállapotukat javítva az intenzív műtrágyázás időszakában. Vagyonmérlegeinkben mindez nem jelenik meg sem országos, sem üzemi vagy tábla szinten.

Montgomery (2007) szerint globálisan a legnagyobb fenyegetettséget talán az jelentheti, hogy elfogy az élet újratermeléséhez szükséges termőföld. Úgy becsüljük, hogy a vadászó/gyűjtögető társadalomban 20-100 ha/fő, a vándorló földművelés idején 2-10 ha/fő, a letelepedett mezőgazdasági közösségben 0,5-1,5 ha/fő, a mai intenzív gazdálkodásban 0,2 ha/fő termőföld biztosíthatja az ételmet. Napjaink 6 milliárd körüli népességét 1,5 milliárd ha művelt terület táplálja. Az előrejelzések szerint 2050-re a művelt terület akár 0,1 ha/fő értékre eshet a népességi nyomás és a talajpusztulás miatt. Lassan kicsúszhat a lábunk alól a talaj. A rövidtávú piaci érdekek miatt a társadalom lassan reagál a veszélyes változásokra, melyek nem látványosak mint egy földrengés vagy egy árvíz (*Dobermann és Cassman 2001*).

Berry (2002) szerint nem nő a búza termése az USA-ban vagy Mexikóban. Elértünk egy technológiai plafont. A nagy termésemelkedés 1950-2000. között volt, mely az akkori fajtaváltás, kemizálás és gépesítés eredményét tükrözte. Már nem adhatunk több műtrágyát, ha a talajok jól ellátottak, telítettek. A hidropónia csak kicsiben életképes munkaintenzív körülmények és energiabőség mellett. A növénynevelés tartalékai is kimerülöben. Elméletileg a genetikai manipuláció még hozhat áttörést azzal a kockázattal, hogy szuperkompetitív fajok kerülhetnek a mezőgazdasági, természeti környezetbe ismeretlen következményekkel. Ma a világ aratástól aratásig él mint a kínai paraszt az 1920-as években. Ma ez a haladás.

Az élelmiszertermelés és a mezőgazdaság jelenkori sajátosságait elemezve *Nagy (2008)* kiemeli, hogy a gyakran 40-60 %-ot is elérő vagy meghaladó állami támogatás megszüntette a szabad piacot. Az ágazat azt termel, amit támogatnak. A globális tőke uralma alá került és profitérdekek irányítják. A mezőgazdaság már egyre kevésbé a vidéki lakosság megélhetésének forrása és élettere. A tőke számára a paraszti életforma feleslegessé válik, népesség kiszorul a munkaerő-piacról. Nem cél az egészséges élelmiszerellátás vagy a nemzeti önellátás. A termelés különféle adalékokat, hozamfokozókat, toxikusan ható mesterséges anyagokat használ. Kiiktatja a helyi

fajtákat, génbankokat, melyeket saját genetikailag módosított (GMO) vetőmagjával helyettesíti. Leépíti a nemzeti agrárkutatókat, kísérletügyet, minőségellenőrző és szaktanácsadószerveket, hogy kontroll nélkül mozoghasson. Mindezt teszi a „versenyképesség” mítoszát hangoztatva. A szerző szerint az élelmiszertermelés problémáját nemzetbiztonsági ügyként kell kezelni, mert a GMO kérdés a genodícióm kérdését is felvetheti.

Sajnos nem a családi farm az uralkodó, ahol a tulajdonos a földet megőrzi és generációk adják át egymásnak. Érzelmileg is kötődve minden röghöz. Az emberiség történetében mindig pusztult a talaj ha elidegenedett a személyes törődéstől, gazdátlaná vált. Az ókori latifundium, vagy a modern monokultúrák erre egyaránt jó példák. Arisztotelésznél a négy alapelem (föld, levegő, tűz, víz) első tagja a föld, a talaj, mely létezésünk alapja minden tekintetben. Az élő és életet hordozó talaj, melyet úgy kezelünk, mintha kimeríthetetlen és ingyen adott volna. Az olajat pl. stratégiai anyagnak tekintjük, a talaj hosszútávon még inkább az és talán előbb elfogyhat, mint az olaj.

A talajpusztulás globálisan egy-két nagyságrenddel haladja meg a talajképződés ütemét, melyet geológiai skálán mérünk. Természetes körülmények között évezredek alatt alakul ki a talaj mint természeti test, 1-2 évszázad alatt 1-2 cm feltalaj képződhet (Alexander 1988, Brown 1981). A talaj nemcsak a termőképesség funkciójával rendelkezik. A víz, hő, energia és a növényi tápanyagok raktára, az élővilág primer tápanyagforrása, a természet szűrő és detoxikáló rendszere, a bioszféra génrezervoárja és a biodiverzitás fenntartója. A társadalom közös öröksége és kincse. Az Európa Tanács 1990. évi állásfoglalása szerint a talaj ökológiai funkcióinak megőrzését kell elsődlegesnek tekinteni használata során. Mi a hazai helyzet? A termőföldnek nincs értéke. A rendszerváltás óta kormányaink egymást túllícitálva büszkélkedtek a zöldmezős beruházásokkal. A legjobb talajaink sok ezer hektárja pusztul évente, miközben egyik-másik globális óriáscég néhány év múlva, amikor már itt adóznia kellene, továbbvándorol. Maga után hagyva a jóvátehetetlen kárt. A rendszerváltás óta Magyarországon 500 ezer ha-al csökkent a termőterület. Ebből mintegy 80 ezer ha-t véglegesen kivontunk a mezőgazdasági termelésből. Elnyelte az ipar, városiasodás, autópályák, stb.

Az agrártámogatások zöme mindenütt (Egyesült Államok, Európa vagy nem kevésbé Magyarország) a nagy árutermelő monokultúrák gazdaságoknak jut, melyek környezet/talajpusztítók és kevés embernek adnak munkát. A valós költségek alapján nem volna előnyük a családi gazdaságokkal szemben. Az eróziót olajjal váltja ki a nagyüzem, főként műtrágyákkal. A talajpusztulás okozta termékenység-csökkenés ellensúlyozása ugyanis több műtrágyát igényel. A műtrágyák előállítására viszont rendkívül energiaigényes. Ellenállónak, fenntarthatónak a fajgazdagság, a diverzitás tehet, mely monokultúrában szintén nem valósulhat meg. A biotechnológia, a GM növények a globális cégek monokultúrák gazdálkodását szolgálják. Az USA Mezőgazdasági Minisztériuma (USDA) vizsgálatai szerint pl. a peszticidek használata nem csökkent a GM növénytermesztésben, bár hirdetői éppen arra hivatkoztak, hogy e növények ellenállóak. A növények termőképessége sem nőtt érdemben, sőt a GM szójavetőmag több mint 8000 szabadföldi kísérlet eredményei alapján kevesebbet termelt (Montgomery 2007.)

Stephens az 1840-es években Közép-Amerika őserdeiben elveszett civilizációk, 40 ősi város nyomaira bukkant. *Montgomery (2007)* könyvében a talaj szerepét vizsgálta az emberiség történetében arra a következtetésre jut, hogy a modern társadalmak nem tanulnak a múltból. Az emberhez hasonlóan a civilizációknak is van élettartama. Fejlődnek, birtokba veszik életterüket, majd túlnépesedve lepusztítják erdeiket, erodálják (kimerítik, elsózzák stb.) talajaikat. A lakosság kipusztul, elvándorol, a civilizáció összeomlik. Ez történt az ókori civilizációkkal, mint Görögország, Róma, Maja birodalom, Húsvét sziget stb. Egyiptom elkerülte ezt a sorsot, mert a Nílus hordaléka évente újratemti termékenységét. „Egyiptom a Nílus ajándéka”- mondta már az ókorban Hérodotosz.

Az üledékek geológiai vizsgálata szerint pl. a Maja civilizáció háromszor omlott össze és éledt újjá a történelem folyamán. Az első kiteljesedő talajerózió kb. 3,5 ezer évvel ezelőtt kezdődött a kukorica művelésbe vételével. A népesség megfogyatkozott, elvándorolt. Majd egy évezred után újraéledt a természet, benépesült a térség. A növekvő népesség a síkságok után művelésbe vonta ismét a hegyoldalakat, kiirtva erdőket, bekövetkezett a talajpusztulás, összeomlás. A maják elhagyták városaikat. Hasonló bizonyítékokkal szolgálnak az üledékminták a Húsvét szigeten. Valamikor nagy közösség jelentős emlékművekkel (monumentális, kultikus kőszobrok, kőfejek) elnéptelenedett és a barbarizmusba süllyedt. Az ökológiai öngyilkosság a sziget talajában, üledékében megőrződött. Népességnomás hatására 1200-1600 között teljeseedett ki az erdőirtás, talajerózió. Ezt követte a népesség, az egész közösség csaknem teljes pusztulása. Eltűnt az élet, a 20 őshonos madárfajból 2 maradt fenn (*Ponting 1993, Hunt 2006, Mieth és Bork 2005*).

Horn (2008) szerint a növekvő népesség és fizetőképes kereslet (Kína, India, DK-Ázsia) által generált élelmiszerigény folyamatosan és drasztikusan emelkedik, melyhez most a bioenergia növények termelése is hozzáadódik. Emellett a gyógyszer- és csomagolóipar alapanyagát szintén a növénytermesztésnek kell majd egyre inkább szolgáltatnia a jövőben a vegyipari alapanyagok helyett. (Lásd a nem lebomló nejlonzacsók betiltása, cseréje keményítő alapú csomagoló anyagokra). Ezzel szemben rohamosan csökken a termőföld, az öntözővíz-készlet és a tengeri halállomány. *Diamond (2007)* szerint Kína legértékesebb termőterületének mintegy 40 %-át veszítette el az utóbbi évtizedek látványos ipari, infrastrukturális fejlődése és a városiasodás nyomán. Hasonló a helyzet a világ, ill. Európa más vidékein, általában a legjobb földeket építik be. Kínában hagyományosan a földek felét öntözik, de a világ legnépesebb országa különösen érzékeny a vízhiányra, mert negyed annyi víz jut egy lakosra, mint a világátlag. A túlhasználat miatt a talajvízszint gyorsan süllyed, helyére gyakran tengervíz áramlik és a talaj elsózódik, tönkremegy.

A hagyományos DK-ázsiai öntözéses rizstermesztéses gazdálkodás évszázadokon, évezredekken át fenntartható volt. A talajok termékenységét sikerült megőrizni. A kínai paraszt minden növényi, állati, emberi hulladékot, trágyaszert visszajuttatott a talajba és elősegítette a talajképződést. Erre már *Liebig (1876)* felhívta Európa figyelmét. Hasonló volt a helyzet Korea öntözéses gazdálkodásában (*Kádár 1992*). A vízhiány a terméspotenciált csökkenté, másutt is probléma. *Horn (2008)* arra utal, hogy pl. USA 12 szövetségi államában vezettek be öntözés-korlátozást a talaj-vízszint süllyedése miatt. Ez a terület állítja elő az ország növénytermelési értékének 1/3-át. Ami a tengeri halászat fenntarthatóságát illeti, a szerző az alábbiakat közli: „A halból él 200 millió halász a

Földön, 4 millió halászhajó járja a vizeket. Egymilliárd embernek az értékes állati-fehérje bázisa kizárólag a hal. A tengeri halállomány, a fő halfajokat tekintve, jelenleg 70 %-kal kevesebb a rablóhalászat miatt, mint akár 50-60 éve”. Minden mozgó halat kifognak a csúcstechnológia (pl. légi-felderítés stb.) és a tiltott módszerek alkalmazásával, teszi hozzá még a szerző.

Mi a tanulság? Mi nem tudunk elvonulni az ökológiai krízis elől, mint a vadászó-gyűjtögető, vagy a vándorló földművelő őseink, új földeket keresve. A Föld véges. Fel kell ismerni a talaj valódi értékét, mely nem csak egy közönséges áru vagy input tétel a globális cégek kezében. Az élet hordozója, emberiség öröksége. Újra kormány szintű programokat kell indítani a hazai talajok számbavételére, funkcióik, termékenységük megőrzésére. Helyre kell állítani a mezőgazdasági kutatás, oktatás és szaktanácsadás életképességét, hogy felkészülhessen az előtte álló feladatokra.

A magyar mezőgazdaság egyik, még ma is részben meglévő erősségét jelentik az agrárkutató-intézetek. Az 1800-as évek II. felében Darányi miniszter által alapított és az ő szellemében működő szakembergárda, a volt kísérletügy alapozta meg a magyar mezőgazdaság világhírnevét a XIX. sz. végén. Majd az 1960-1990-es évekhez fűződő kiemelkedő agrárteljesítményeket szintén csak a megfelelő támogatottságú kutatói, oktatói, szaktanácsadói hálózat és infrastruktúra volt képes biztosítani. A nagy termékek, versenyképes termékek előállításában ez a háttér nyilvánult meg. A magyar mezőgazdaság az új kihívásoknak, az élelmiszer- és az energiatermelés követelményeinek e nélkül nem lesz képes megfelelni.

Leonardo da Vincinek tulajdonítják azt a mondást, hogy: „Többet tudunk a csillagok járásáról, mint a lábunk alatti talajról.” Ez ma is igaznak látszik, hiszen a holdon látogatást tettünk, míg a földi problémák megoldatlanok maradtak. Franklin D. Roosevelt reagálva az USA viszonyaira, a talaj pusztulás mértékére az 1920-as, 1930-as években, kijelentette: „Az a nemzet, mely elpusztítja a talaját, önmagát pusztítja el.” Chamberlain szerint: „Ha a talajaink erodálódnak nekünk is mennünk kell. Hacsak nem találjuk meg a módját hogyan élhetünk a nyers sziklán.” Amit a talajjal teszünk, magunkkal tesszük. Egy ember nem állíthatja meg az eróziót, de elindíthatja. A felelősség közös. Rá kell ébrednünk arra, hogy az alapvető és hosszútávú problémák megoldásának prioritást biztosítsunk.

Összefoglaló megállapítások, következtetések, javaslatok

A termőföld nem csak egy közönséges áru vagy input tétel a globális cégek kezében. Az élet hordozója, emberiség öröksége. Újra kormány szintű programokat kell indítani a hazai talajok számbavételére, funkcióik, termékenységük megőrzésére. Helyre kell állítani a mezőgazdasági kutatás, oktatás és szaktanácsadás életképességét, hogy felkészülhessen az előtte álló feladatokra. Az agrártudományoktól (beleértendő tágabban a kutatás, oktatás, szaktanácsadás, növény- és talajvédelmi szolgálat, stb.) elvett és a biotechnológiai ipar érdekeltségi köreinek évente nyújtott milliárdokat vissza kell adni a nemzeti agrártudományoknak. Ez a hosszútávú agrárpolitikai program anyagi alapjául szolgálhatna. A magyar mezőgazdaság egyik, még ma is részben meglévő erősségét jelentik az agrárkutató-intézetek. Az 1800-as évek II. felében Darányi miniszter által alapított és az ő szellemében működő szakembergárda, a volt kísérletügy alapozta meg a magyar mezőgazdaság világhírnevét a XIX. sz. végén. Majd az 1960-1990-es évekhez fűződő kiemelkedő agrárteljesítményeket szintén csak a megfelelő

támogatottságú kutatói, oktatói, szaktanácsadói hálózat és infrastruktúra volt képes biztosítani. A nagy termékek, versenyképes termékek előállításában ez a háttér nyilvánult meg. A magyar mezőgazdaság az új kihívásoknak, az élelmiszer- és az energiatermelés követelményeinek e nélkül nem lesz képes megfelelni. Az agrártudománytól (beleértendő tágabban az oktatás, szaktanácsadás, növény-és talajvédelmi szolgálat, stb.) elvett és a biotechnológiai ipar érdekeltségi köreinek évente nyújtott milliárdokat vissza kell adni a nemzeti agrártudománynak.

A jövőbeni tennivalók sokrétűek. A parlagon hagyott földek újra művelésbe vonhatók. Az agrárkutatásnak célszerűen legyen az MTA a gazdája, hiszen az Oktatási Minisztériumhoz tartozó egyetemektől ez a koordináció és a főállású kutatómunka, kísérleti tevékenység nem várható el. A Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium gyakorlati célú programokkal, megbízásokkal segíthetné az agrárkutatói, szaktanácsadói munkát. Az MTA Agrárossztálya első lépésben egy 5 éves tervet, valamint egy távlati 20 évre szóló tervet dolgozhatna ki a prioritások kijelölésével ez év végéig. Az MTA vezetése megtárgyalhatná a Kormány Tudománypolitikai Bizottságával és a parlament elé kerülhetne törvényi jóváhagyásra. A programra biztosított támogatási keret 50%-át fordíthatnák a mezőgazdasági kutatóintézetek (MTA, FVM) alapellátásának javítására. A támogatási keret másik 50%-a pályázat útján kerülhetne a sikeres pályázókhoz. A programhoz, ill. a törvényjavaslathoz széleskörű társadalmi támogatást, ötpárti egyeztetést kell biztosítani. A talajpusztulás és a társadalmi stabilitás összefüggéseit, a történelmi tapasztalatokat bemutatva, tudatosítani szükséges a lakosság körében.

Irodalom

- Alexander, E. B. (1988): Rates of soil formation, implications for soil-loss tolerance. *Soil Science*. 145:37-45.
- Berry, W. (2002): The whole horse. In: *The Fatal Harvest Reader: The tragedy of industrial agriculture*. Ed.: Kimbrell, A. 39-48. Wasington, D. C. Island Press.
- Bodoky T. (2007): Milliárdos állami támogatások a magyar biotechnológiai sikertörténet mögött. *Index.hu*. 2007. 03. 14.
- Brown, L. R. (1981): World population growth, soil erosion and food security. *Science*. 214:995-1002.
- Cassman, K. G. - Liska, A. J. (2007): Food and fuel for all. Realistic or foolish? *Wiley Interscience*. (www.interscience.wiley.com)
- Darvas B. (2007): Hús év magány. *Élet és Irodalom*. 52(2): 5.
- Diamond, J. (2007): Összeomlás. *Tanulságok a társadalmak továbbéléséhez*. Typotex Kiadó. Budapest. 577 p.
- Dobermann, A. - Cassman, K. G. (2001): Challenges for sustaining productivity gains and environmental quality in intensive grain production systems of Asia and the US. In: Horst, W. J. et al. (eds.) *Plant Nutrition*. 966-967. Kluwer Academic Publishers.
- Fribourg, H. A. (2005): How does the National Research Initiative spend our money? *CSA News*. 50: 8-13.
- Horn P. (2008): Termeljünk-e több kukoricát? *Agrofórum*. 19. évf. 4:20-23.
- Hunt, T. L.- Lipo, C. P. (2006): Late colonization of Easter Island. *Science*. 311:1603-1606.
- Kádár, I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 398 p.
- Kádár, I. (1993): A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. *KTM-MTA TAKI*. Budapest. 112 p.

- Kádár, I. (1995): A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM - MTA TAKI. Budapest. 388 p.
- Kádár, I. (1998): A szennyezett talajok vizsgálatáról. Kármentesítési Kézikönyv. 2. Környezetvédelmi Minisztérium. Budapest. 151 p.
- Kádár, I. - Szemes, I. (1994): A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest. 248 p.
- Lázár Gy. (2007): Befektetésre alkalmatlan. *Élet és Irodalom*. 51(11):16.
- Liebig, J. v.: 1876: *Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie*. 9. Auflage. Ed.: Zöller, Ph. Braunschweig. Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.
- Maene, L. M. (2007): Plant nutrition and human well-being. An industry perspective. In: 16th CIEC Symposium Proc. 3-13. Eds.: Neve, S. De. et al. Univ of Ghent. Belgium.
- Mieth, A.- Bork, H. R. (2005): History, origin and extent of soil erosion on Easter Island (Rapa Nui). *Catena*. 63:244-260.
- Montgomery, D. R. (2007): *Dirt. The erosion of civilizations*. Univ. of California Press. Berkeley, Los Angeles, London. 285 p.
- Nagy B. (2008): Élelmiszerbiztonság mint egészségmegelőzési és nemzetvédelmi kérdés. *Agrárunió* IX. évf. 3. sz. 41-43.
- Ponting, C. (1993): *A green history of the world. The environment and the collapse of great civilizations*. Penguin Books. New York. 222 p.

Gércei alginit hatása a savanyú homoktalaj termékenységére

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Az alginit fosszilis/eltemetett és megkövesedett alga biomasszából és elmállott tufából 3-4 millió évvel ezelőtt keletkezett, nagy szerves anyag tartalmú olajpala kőzet. Ekkor a vulkanizmus elcsendesedése után krátertavak (tufagyűrűk, maarok) alakultak ki. A krátergyűrűk zárt medencéibe beszivárgott a felső pannon beltenger vize. A krátertó alacsony sótartalmú meleg, tápanyagdús vizeiben zöldalgák (*Botryococcus brauni*) és már növényi/állati szervezetek tömeges elszaporodása következett be eutrofizációt okozva. Az anaerob közegben elhalva, a tófenéken szaproel iszapként halmozódtak fel (SOLTI 1999).

Az alginit név a biomassza alga eredetére utal. Az alginit kőzetből 64 elemet mutattak ki, melyek döntően a 3-as rétegszilikátokban szeretlen kötésben, illetve a humuszanyagokkal szerves vagy kelát kötésben vannak. Az ásványi összetevők között agyagásványok (szmeklit, illit), karbonátok (kalcit, dolomit, aragonit), valamint a kvarc és a kovasav amorf változata dominál. Alárendelt mennyiségben megtalálható még a gipsz, plagioklász, káliföldpát, sziderit, geothit, magnezit és pirit. A MÁFI térképezési kutatási programja keretében 1974-ben Solti Gábor tárt fel alginittal és bazaltbentonittal betemetett egykori vulkáni krátereket (SOLTI 1999).

Jelenlegi ismereteink szerint fellelhetősége kizárólag a Kárpát-medencére terjed ki. Az alginit vagy on kb. 150 millió tonna. Külszíni fejtéssel három helyen bányászható gazdaságosan. E bányák készlete a teljes vagy on kb. 90%-át adhatja. Ebből Magyarországon két bánya üzemel. A jelentősebb a Gércén található bánya, mely a vagy on mintegy 80%-ával rendelkezik. Az utóbbi években végzett kutatófúrások adatai alapján az alginitréteg vastagsága 40-60 m réteget alkot a felszínen kb. 200 ha-on 100 millió tonna mennyiséget meghaladó vagy onnal. A bánya jelenleg 16 ha-on üzemel.

Az MSZH Tanakajd Talajvédelmi Laboratóriuma 3 gércei alginit mintát elemzett 2009-ben. A minták átlagos összetétele az alábbi volt: nedvesség 37%, CaCO_3 15%. Mikroelemek/nehézfémek: Pb 93, Cr 62, Cu 22, Ni 21, Co 20, As 10, Se < 0,5; Cd < 0,2 és Hg < 0,1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ sz.a. A Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal (MSZH) Központ engedélyező hatóság kiadta a forgalomba hozatali és felhasználási engedélyt, mivel a készítmény veszélyes összetevőt, veszélyes hulladékot, kockázatos anyagokat az előírt határértékeknél nagyobb koncentrációban nem tartalmaz. Az engedély szerint a gércei alginit mint talajjavító anyag az előírt minőségi feltételek szerint barna színű, szagtalan, nedves tapintású földszerű anyag. Beltartalmi paraméterei: maximum 40% nedvesség, legalább 14% CaCO_3 és szerves anyag. Határértékként tartalmazhat maximum 100 Cu, Cr és Pb; 50 Co és Ni; 10 As; 5 Se; 2 Cd és 1 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Hg elemet szárazanyagban. Felhasználható savanyú talajok javítására és termeszto közegek adalékaként 2019.09.08-ig, az engedély érvényesség időtartamán belül (MSZHK 2009).

A BONN-I EGYETEM TALAJTANI TANSZÉKE és a NORD-WEST LUFA vizsgálatai szerint a gércei alginít 52% agyag, 42% vályog, 6% homok szemcseösszetétellel jellemezhető. A karbonátok és a humusz lebontása után az agyag 26%-ra, felére esik, míg a vályog frakció 67%-ra emelkedik. Az agyagsökkenés oka a finom eloszlású mész eltűnése az alginítból. Az 1 m³ alginít 600 kg körüli vizet képes visszatartani, melyből kb. 400 liter a növények számára felvehető marad. Röntgen diffrakciós elemzések szerint a szemeklit 50%, illit 40%, klorit/vermikulit 10%-os arányt képviselt. A táguló szemeklit javíthatja a kőzet víztároló kapacitását. A szerves anyag 6-19% között változhat. A C/N arány azonban tág 30 feletti, a szerves anyag stabil hosszú felezési idővel. A CaCO₃ elérheti a 20%-ot, a CEC a 35 mol·kg⁻¹ értéket. E tulajdonságok különösen előnyösek lehetnek a savanyú, rossz víz- és tápelemgazdálkodással rendelkező, szerkezetnélküli homoktalajok meliorációjánál. A 2 oldalas termékismertető szerint „az ásvány genetikájából eredően heterogén, pontos összetétel, illetve minőség nem adható meg (TNR GMBH 2010).

A gércei alginít hatását vizsgálták Németországban egy savanyú homoktalaj tulajdonságaira és a rajta növő spenót növényre 6 kg-os Mitscherlich tenyészedényekben egységes NPKMgS alaptrágyázással. A talajhoz kevert alginít 0, 10, 15, 20 tömeg %-ot jelentett. A talaj kation kicserélő kapacitása (CEC) az adagokkal rendre 2, 26, 38, 44 mmol·100⁻¹ értékre emelkedett, tehát 10-20-szorosára ugrott. A spenót tesztnövény hajtása és gyökértermése 20-30%-kal nőtt. Különösen a finom, hosszú gyökérszálak tömege vált jelentőssé. Összességében stabilabb talajszerkezet jött létre, kedvezőbbé vált a növények víz- és tápelemhasznosulása. Emelkedett a talaj pH értéke, valamint 7-10%-kal a víztároló kapacitása. Kimosódási vizsgálatok szerint az alginítal kezelte talajból emelkedett mennyiségű Ca, Mg, K, Ni távozott az átszivárgó vízzel, míg a P mennyisége mérséklődött a növekvő alginít terheléssel. Sajnos az alkalmazott alginít összetételét, minőségi jellemzőit a szerzők nem közlik (REX és SCHERER 2010).

Nyers, meszes homoktalajjal és egységes NPK műtrágyázás mellett mikroparcellás szabadföldi kísérletet végeztek Egyiptomban meliorációs céllal alkalmazva a gércei alginítet. A parcellák 2 x 2 = 4 m² területet, az alginít kezelés 0, 4, 8, 16 kg/m², azaz 0, 40, 80, 160 t·ha⁻¹ adagot jelentett. A telepített gyept május-szeptember között naponta 10-15 l/m², azaz 10-15 mm/nap adag vízzel öntözték. A nagyobb öntözővíz normát a nyári június, július, augusztus hónapokban alkalmazták. A szerzők megállapították, hogy fű esetén hasonló körülmények között a 8-10 kg/m², azaz a 80-100 t·ha⁻¹ finomra örölt alginít javasolható 10 cm mélyre bedolgozva. Kezelés hatására javult a homoktalaj szerkezete és víztároló kapacitása. Hosszabb és finomabb gyökérszálak képződött, mely jobban átszötte a talajt és így serkentette a gyept víz- és tápelemfelvételét. A talaj felvehető víztartalmát az alginít kezelés 6%-ról 10%-ra növelte, míg a víztároló kapacitás 120-150 m³/ha, azaz 12-15 mm/ha mennyiséggel emelkedett. A 10 cm-es rétegbe keverve, tehát nagyobb alginít terhelésnél a kezelés hatékonyabbá vált, mint a 20 cm-es rétegben eloszolva. Az alginít <2 mm alatti finomra örölt frakciója szintén előnyösebbnek mutatkozott, jegyzi meg a szerző. Az alkalmazott alginít összetételének közlésére itt sem került sor (HELAL 2010).

Az 1. táblázatban az alginít, a gödöllői városi komposzt, valamint a nyírlugosi savanyú homok és a nagyhőrcsői karbonátos vályogtalaj tulajdonságait hasonlítjuk össze. Az alginít kiugróan sok agyagot tartalmazhat, melyre a nagy K_A szám is utal. Ezen túlmenően $CaCO_3$ és szervesanyagkészlete is kimagasló. Ennek ellenére N-t nem szolgáltathat a növény számára, hisz a C/N aránya extrémén tág. Tehát alkalmazása esetén N-bőséget igényel, N nélkül hatástalan lehet. Téves az olyan állítás, hogy: „A növények fejlődéséhez szükséges makro- és mikroelemeket komplex módon tudjuk az alginít bejuttatásával pótolni a talajban.... Az alginít kiválthatná a műtrágyát és egyben pótolná a szerves trágya hiányát is” (BANOS 1999).

1.táblázat: Az alginít, gödöllői városi kommunális komposzt, valamint a nyírlugosi homok és a mezőföldi vályogtalaj tulajdonságainak összehasonlítása (MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet)

Vizsgált jellemzők	Alginít ásvány	Kommunális komposzt	Nyírlugosi Homok	Nagyhőrcsői vályog
pH (H ₂ O)	7,0-7,8	7,0-8,0	4,8-5,8	7,8-8,1
pH (KCl)	6,9-7,4	6,0-7,0	4,0-4,2	7,5-7,7
Homok %	10-20	60-65	86-92	15-20
Izlap %	40-50	20-25	5,0-9,0	55-60
Agyag %	40-50	10-15	3,0-5,0	20-25
Kötöttség K_A	60-90	-	23-25	38-40
$CaCO_3$ %	5-20	5-8	-	3-5
Humusz %	5-13	30-40	0,5-0,8	2-4
„összes” só %	0,2-0,4	0,4-0,6	<0,02	0,02
Összes N %	0,1-0,4	1,0-3,0	<0,05	0,1-0,2
C/N arány	30-180	7-8	-	10-15

Kétségtelen, hogy az alginít semleges, illetve enyhén lúgos hatása, hatalmas Ca és Mg (esetenként jelentős K, P, S tartalma), kötöttsége, szerves és ásványi kolloidokban való gazdagsága alkalmassá teszi a savanyú, laza szerkezetű, kolloidszegény homoktalajok javítására, termékenységük növelésére. Előnyösen változhat a talaj víz- és tápelemszolgáltatása a N-kiegészítést követően. Javulhat a növények aszálytűrő képessége. Emellett az alginít kolloidális struktúrája a talajszennyező anyagokat megkötheti (méregtelenítés), kilúgzásukat, talajvízbe jutásukat gátolhatja. Savanyú homokon a pH-t növelő meszező hatás és a kolloidgazdagító hatás egyaránt érvényesülhet melioratív adagok alkalmazása esetén.

Az alginít felhasználásának gátjaként jelentkezhethet, hogy:

- Nagy tömegben kell szállítani, kiszórni, kezelni (10-100 t·ha⁻¹)

- A kitermelt, deponált értékesítésre váró alginít átlagosan 20-25% nedvességtartalommal rendelkezik.
- Nyírség és belső Somogy talajait kellene meliorálni, javítani. Ezek az ország legszegényebb vidékei. Csak állami támogatással képzelhető el a művelet.
- Az alginít Ni tartalma esetenként elérheti vagy meghaladhatja az engedélyezett $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sz.a. határkoncentrációt.

Igaz, hogy agronómiailag, élettanilag vagy környezeti szempontból ez utóbbinak nincs különösebb jelentősége, hisz ebben a meszes közegben az említett elem nem válik mobilissá, a növények számára felvehetővé.

Anyag és módszer

Hazánk egyik legrégebbi műtrágyázási tartamkísérlete a Nyírségben található, melyet LÁNG (1963) állított be a savanyú kovárányos barna erdőtalajon, Nyírlugoson. A kísérletben öt elemet vizsgálunk: N, P, K, Ca, Mg. Az NPKCa elemeket 4-4, míg a Mg elemet 3 szinten. Műtrágyaforma: pétisó, szuperfoszfát, kálisó, őrölt mészkőpor és dolomitpor. A kezelések száma 32, ismétlések száma 4, összes parcellák száma 128. A parcellák mérete $5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$, elrendezésük módja véletlen blokk. Eredetileg a parcellák száma 512 volt, mert a vizsgált tényezők között a fajta és a szántásmélység is szerepelt. A kísérletben 1991 óta tritikále terem monokultúrában. A kísérlet körülményeit és 50 évének tanulságait a közelmúltban egy önálló kiadványban részletesen ismertettük (KÁDÁR et al. 2011).

Az alginitet egyszeri melioratív $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ dózisban alkalmaztuk 4 különböző N-szinten, melyek a 0, 50, 100, 150 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ N-kezeléseket jelentették a tartamkísérletben. E parcellák talaja a növekvő N-trágyázás nyomán növekvő mértékben elsavanyodott és Ca, Mg, K, P elemekben elszegényedett. Az 50 m^2 -es parcellákat megfeleztük és az $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$ területű félpárcellák kapták a $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, azaz 250 $\text{kg}/\text{parcella}$ alginitet 2011 őszén. A kiszórás kézzel történt egyenletesen, majd tárcsázással és szántással kevertük az anyagot a talajba. Kontrollként az alginitet nem kapott félpárcellák szolgáltak. Így a $4\text{N} \times 4$ ismétlés = 16 alginites, illetve $4\text{N} \times 4$ ismétlés = 16 alginít nélküli rész együtt 32 parcellás kísérletet adott.

A felhasznált alginít jellemzése

Jelen dolgozatban az alginít talajra és a növényre gyakorolt hatásait elemezzük. A felhasznált alginít 15% nedvességet, 15% CaCO_3 -ot és 4,6% szerves anyagot tartalmazott. Az összes-N 0,15%, K_A 63, $\text{AL-K}_2\text{O}$ 386, $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 216 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ értéket tett ki. A becsült C/N arány 180 körülnek adódott. Az alginít egyszeri melioratív adagja $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt, hogy a kezelésnek a talaj fizikai/vízgazdálkodási tulajdonságaira gyakorolt esetleges hatásait is megfigyelhessük. A 2. táblázatban feltüntettük az alginít királyvíz oldható „összes” és az NH_4 -acetát oldható „mobilis” elemtartalmát, valamint a mobilis frakció %-os részarányát az összes készletben. Közöljük a $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ adaggal okozott talajterhelést is $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ -ra vetítve.

A felhasznált alginitben kereken 5% elemi Ca; 3,6% Al; 2,9% Fe; 1,9% Mg; 0,82% K; 0,15% P; 0,12% S volt. A királyvíz oldható Ni mennyisége meghaladta az előírt $50 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ sz.a. értéket. Ami a kémiai oldhatóságokat illeti (mely nem függ össze közvetlenül a növényi felvehetőséggel), kitűnik 92-70% mobilis frakcióarányal, csökkenő sorrendben a Cd, Ca, Sr, Mn. Ezt követi 57-30% közötti

mobilitási részarányal a S, Na, Pb, Cu, Mg, Ba. A Ni és a Co 19-18%-ot jelez. A többi elem illetően mobilis frakciója 10% alatti. A kristályrácsokba épülő Al, Cr, B elemek esetén a mobilis frakció 1% körüli vagy alatti (2. táblázat).

2.táblázat: Az alkalmazott alginit királyvízben oldható „összes” és az NH₄-acetát+EDTA oldható „mobilis” elemtartalma és a 100 t·ha⁻¹ adag általa okozott talajterhelés (Nyírlugosi tartamkísérlet, Nyírség, 2011)

Elem Jele	Mérték-Egység	Királyvíz oldható	NH ₄ -acetát +EDTA oldható	Mobilis az összes %-ban	Talajterhelés kg·ha ⁻¹ *
Ca	mg·kg ⁻¹	49942	43965	88	4245
Al	mg·kg ⁻¹	36026	68	<1	3062
Fe	mg·kg ⁻¹	28501	934	3	2423
Mg	mg·kg ⁻¹	19188	6969	36	1631
K	mg·kg ⁻¹	8166	466	6	694
P	mg·kg ⁻¹	1501	35	2	128
S	mg·kg ⁻¹	1237	703	57	105
Mn	mg·kg ⁻¹	587	411	70	50
Na	mg·kg ⁻¹	454	230	51	39
Sr	mg·kg ⁻¹	419	322	77	36
Ba	mg·kg ⁻¹	281	84	30	24
Ni	mg·kg ⁻¹	75,0	14,50	19	6,4
Zn	mg·kg ⁻¹	65,8	5,22	8	5,6
Cr	mg·kg ⁻¹	63,9	0,42	<1	5,4
B	mg·kg ⁻¹	26,8	0,34	1	2,3
Cu	mg·kg ⁻¹	19,2	7,04	37	1,6
Co	mg·kg ⁻¹	15,9	2,80	18	1,4
Pb	mg·kg ⁻¹	9,75	3,92	40	0,85
As	mg·kg ⁻¹	8,84	0,44	5	0,76
Sn	mg·kg ⁻¹	2,84	0,14	5	0,25
Mo	mg·kg ⁻¹	1,86	0,06	3	0,17
Se	mg·kg ⁻¹	1,02	<0,12	-	0,08
Cd	mg·kg ⁻¹	0,12	0,11	92	0,01

*Talajterhelés 100 t·ha⁻¹ alginittel a királyvíz-oldható elemkészlete alapján

A 100 t·ha⁻¹ adaggal a szántott talajrétegbe került kereken 42 t Ca, 31 t Al, 24 t Fe, 16 t Mg, 694 kg K, 128 kg P és 105 kg S ha-ra számolva. Az összes Ni, Zn és Cr általi terhelés 5-6 kg·ha⁻¹-ra tehető; a B, Cu és Co 1-2 kg·ha⁻¹-ra, míg a maradék mikroelemek talajba juttatott mennyisége dkg-okban mérhető. A Hg nem is volt kimutatható.

Mivel az alginit gazdag Ca és Mg elemekben, illetve részben K, P és S tápelemekben, helyettesítheti a meszező anyagokat, illetve kisebb részben a K, P és

S műtrágyát. Nem szolgálhat viszont N-forrásként, a tartós és kedvező hatás kifejtéséhez a megfelelő N-trágyázás elengedhetetlen.

Növény és talaj mintavételezés

Éréskor parcellánként 8-8 fm = 1-1 m² területről évente vettünk földfeletti növénymintákat, körbe 1-1 m-t elhagyva a parcellák szegélyéről (nettó terület). Mintakévéket az Órbottyán Kísérleti Telepünkre szállítottuk. Itt történt a cséplés, a szem/szalma/pelyva tömegének mérése (n=32). Laboratóriumi vizsgálatra a növényi anyagokat finomra őröltük. A talajmintákat tarlóhántás után 2012.07.20-án vettünk a szántott rétegből, 20-20 lefűrés anyagát egyesítve parcellánként (reprezentatív átlagminta, n=32) a talaj alaptulajdonságainak és elemösszetételének meghatározásához. Talajfizikai vizsgálatok (szabadföldi és effektív vízkapacitás) céljaira a kontroll parcellákon 2-2 cilindert, az alginittel kezeltéken 3-3 cilindert vettünk le a szántott rétegben (utóbbi esetben a várhatóan nagyobb talajheterogenitás miatt). A 4 kontroll x 2 cylinder x 2 ismétlés = 16 db, az alginit kezelésben 4 alginit kezelés x 3 cylinder x 2 ismétlés = 24 db, azaz összesen 40 db bolygatatlan talajminta vizsgálatára kerül sor. A növény és talajvizsgálatokat ötévente végezzük.

Laboratóriumi vizsgálatok

A laboratóriumi vizsgálatok az MTA ATK Talajtani és Agrokémiiai Intézetben folytak az alább ismertetett módszerekkel:

Növényminták: 0,5 g bemért légszáraz anyaghoz 5 cm³ + cc. HNO₃ + 1 cm³ cc. H₂O₂ adagolása, majd 15 perces roncsolás a mikrohullámú berendezésben. Az elemek mérése ICP készülékkel történik. A N-meghatározásnál 10 cm³ cc. H₂SO₄ + 2 cm³ cc. H₂O₂ adagolása az MSZ 20135 (1999) szerint, a módosított KJELDAHL (1891) módszerrel.

Talajminták: Az oldható elemtartalom meghatározásához LAKANEN és ERVIÖ (1971) módszerét használtuk. A pH, y₁, CaCO₃, humusz, kötöttség, összes só alapvizsgálatok BARANYAI et al. (1987) szerint történtek.

A kicserélhető kationok és a T-érték vizsgálatához 2,5 g talajhoz 30 cm³ 1 mol/L BaCl₂+TEA kirázó oldatot adunk. A 3 órás rázatás után az elemek mérése ICP készülékkel történt az MSZ 08-0214-1: 1978, illetve MSZ 08-0214-2: 1978, illetve BASCOMB (1964) szerint. Számítással határoztuk meg az S-értéket, mely a Ca, Mg, K, Na kicserélhető kationok összegét jelenti. A bázisokkal le nem kötött adszorpciós helyek mennyiségét jelöli a T-S különbsége, szintén me/100 g talajra megadva. A V% a bázistelítettségre utal, jelezve, hogy a lehetséges adszorpciós helyek közül mennyi van %-osan 1- és 2-értékű bázikus kationokkal elfoglalva ($V = S \cdot 100/T$). A T-érték %-ában kifejezett telítettség tehát a V%. Reciproka viszont a telítetlenséget jelezheti szintén a T-érték %-ában $U = 100 - V$.

Talajfizikai vizsgálatok

A vízkapacitást és a szabadföldi vízkapacitást a pF görbe két pontjával jellemeztük. A pF= 0 pontot, ami megfelel a teljes vízkapacitás értékének, a bolygatatlan talajoszlop vízzel történő telítésével határoztuk meg. A pF = 2,3 pont

(ami megfelel a szabadföldi vízkapacitás értékének), a kaolinlapra helyezett bolygatatlan talajoszlop 200 vízszlop cm szívóerő hatására beálló egyensúlyi állapotnak felelt meg. A friss talajminták 105°C-on történt szárításával a nedvességtartalmakat mértük.

Csapadékviszonyok

A havi és az éves csapadékösszegeket, valamint az 50 éves átlagokat a 3. táblázat mutatja be. Az adatokból látható, hogy az első évben a tritikále 9 hónapos tenyészideje alatt 2011.10. – 2012.06. hónapok között mindössze 288 mm csapadék hullott, mely nem tette lehetővé a nagyobb termések kialakulását 2012-ben. A 2013-as év rendkívül kedvezőtlen volt. A tavaszi március, április, május hónapokban szokatlanul sok eső esett és ez az időszak hűvös tavasszal párosult. A tritikále fejlődésben visszamaradt, kiritkult és elgyomosodott. A virágzástól az érésig tartó generatív szakaszban mely a magtermést meghatározza, viszont száraz és forró június és július uralkodott. A mag nem tudott kifejlődni, a vízhiány miatt az alginít hatástalan maradt. 2014-ben kedvező volt a bőséges májusi eső. A júniusi túl bő csapadék viszont már főként a szalma és a gyomok fejlődésének kedvezett.

3. táblázat: A havi és az éves csapadékösszegek 2011-2014 között, valamint az 50 éves sokévi átlag, mm (Kovárványos barna erdőtalaj savanyú homok, Nyírlugos)

No.	Hónapok	2011	2012	2013	2014	50 éves átlag
1.	Január	33	26	28	32	27
2.	Február	11	11	46	28	29
3.	Március	41	1	132	15	30
4.	Április	19	32	47	24	41
5.	Május	34	85	82	79	59
6.	Június	42	53	29	27	65
7.	Július	133	53	34	122	65
8.	Augusztus	34	8	16	57	50
9.	Szeptember	28	19	22	33	46
10.	Október	29	30	45	65	37
11.	November	1	28	27	18	42
12.	December	50	55	3	35	41
	Éves összeg:	454	401	511	535	534

Eredmények megvitatása

A N x alginít kezelések hatása a talaj egyes fizikai tulajdonságaira

Ami a 2012-ben elvégzett talajfizikai vizsgálatokat illeti azt találtuk, hogy sem a N-trágyázás, sem az alginít kezelés igazolhatóan nem módosította a talaj összes porozitását, a vízkapacitást. Az összes porustérfogat 47,5%, tehát a talaj szilárd fázisának térfogata 52,5%. A szabadföldi vízkapacitás, a tehát a kapilláris pórusokban tárolt víz mennyisége megnőtt a kontrollon mért 21-28%-os

tartományról a 28-34% tartományba. Átlagot tekintve a 26%-ról 31%-ra. Ez a különbség azonban nem szignifikáns, bár nem elhanyagolható és hozzájárulhatott a pozitív termésmenővelő hatásához a száraz években. A talaj nedvességtartalma 2012.09.26-án a kontrollon 5,8%, az alginites kezelésben 7,2% volt átlagosan, ami 23%-os növekedés. Mindez az alginittel talajba juttatott szerves és ásványi kolloidoknak tulajdonítható, melyet az is igazol, hogy a talaj Arany-féle kötöttsége 30,2-ről 31,6-ra nőtt átlagosan az alginit kezelés nyomán igazolhatóan (SzD_{5%} = 0,4).

A N x alginit kezelések hatása a talaj egyes kémiai tulajdonságaira

A 2012. évi talajvizsgálatok eredményei is alátámasztják, hogy a N-terheléssel kontroll talajon lecsökkent a pH, a talaj drasztikusan elsavanyodott az elmúlt fél évszázad alatt. Ezzel együtt mérséklődött a kation cserélő kapacitás (T-érték vagy CEC) és ezen belül a bázisok összege, az S-érték. Az alginit kezelésben az átlagos

4.táblázat: A N és alginit kezelések hatása a szántott rétegben mért talajtulajdonságokra, 2012 (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-adag kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Hidrolitos aciditás (y ₁)	CEC	Bázisösszeg	Bázis telítettség, %
				mgeé/100 g		
<i>Alginit nélkül (kontroll)</i>						
0	5,69	4,17	7,5	2,0	1,1	54
50	5,22	3,88	9,3	2,1	1,1	52
100	5,00	3,77	12,4	1,8	1,0	54
150	4,89	3,67	12,3	1,5	0,8	51
<i>Alginit 100 t·ha⁻¹</i>						
0	6,75	6,25	5,1	3,4	2,5	74
50	6,76	6,26	5,3	4,5	3,5	77
100	6,67	6,23	6,6	3,5	2,6	74
150	6,49	5,92	7,3	2,9	2,0	70
SzD _{5%}	0,25	0,36	2,8	1,2	0,7	12
<i>N-kezelések átlagában</i>						
Kontroll	5,20	3,87	10,4	1,3	1,0	53
Alginit	6,66	6,16	6,1	3,6	2,6	74
SzD _{5%}	0,13	0,18	1,4	0,6	0,4	6

Megjegyzés: EC ms/cm 21-ről 67-re nőtt az alginit kezeléssel igazolhatóan. Az K_A értéke 30,2-ről 31,6-ra emelkedett ugyanitt

pH (H₂O) 5,20-ről 6,66-ra, a pH (KCl) értéke a 3,87-ről 6,16-ra ugrott. A savanyú homoktalaj semleges kémhatásúvá vált gyakorlatilag. Az elektromos vezetőképesség (EC) megháromszorozódott, közel háromszorosára nőtt a CEC és az S-érték is. A talaj bázistelítettsége 53%-ról 74%-ra emelkedett (4. táblázat).

A hatalmas változásokat jelzi a kicserélhető kationok egymáshoz viszonyított arányának módosulása. A 150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-kezelésben a Ca²⁺ aránya 35%-ra zuhant, ezzel együtt emelkedett a toxikus Al³⁺ és Fe²⁺ mennyisége. Az alginit

leszántásával a Ca^{2+} részaránya a semleges talajokra jellemző 80%-ra nőtt, míg a mérgező Al és Fe ionok aránya 1/10-ére, ill. 1/4-ére esett. A $100 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ alginit alkalmazása tehát a savanyú homoktalaj meliorációját, kémiai átalakítását jelentheti (5.táblázat).

5.táblázat: A N x alginit kezelések hatása a kicserélhető kationok arányára a szántott étegen, 2012 (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-adagok $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Al^{3+}	Fe^{2+}	K^{+}	Együtt
	S-érték %-ában					
<i>Kontroll</i>						
0	61	12	18	6	3	100
50	55	14	17	8	6	100
100	40	12	21	15	2	100
150	35	12	24	22	7	100
<i>Alginit 100 t·ha⁻¹</i>						
0	82	13	2	2	1	100
50	78	14	1	5	2	100
100	80	14	2	3	1	100
150	78	15	3	3	1	100
SzD _{5%}	24	6	4	6	4	
<i>N-kezelések átlagában</i>						
Kontroll	48	13	20	13	5	100
Alginit	80	14	2	3	1	100
SzD _{5%}	12	3	2	3	2	
F-érték	***	N	***	***	***	

F-érték: *95, **99, *** 99,9% szignifikancia

A N x alginit kezelések hatása a talaj szántott rétegének NH_4 -acetát+EDTA oldható elemtartalmára

Az NH_4 -acetát+EDTA oldható elemtartalom fontos jellemző az agronómiai és környezetvédelmi vizsgálatokban. Utal az elem mobilitására, potenciális felvehetőségére a növény által, illetve az adott elem hiányára vagy túlsúlyára. A 6. táblázat adatai összhangban a 4. és 5. táblázatokban korábban bemutatott eredményekkel, tükrözik a tartós nagymérvű N-trágyázás hatását a feltalaj Ca és Mg vesztésére/kiürülésére, valamint a káros Fe és Al akkumulációjára. A N-kezelések átlagait tekintve, az alginit beszántásával (mely kb. $5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ elemi Ca-mal gazdagította a feltalajt) az oldható Ca-készlet közel 5-szörösére dúsult. Nőtt a kezelt talaj oldható K, Mg, P elemekben való gazdagsága is. A nemkívánatos oldhatósága némileg visszaesett.

Megfigyelhető, hogy a nagy N-terheléssel/elsavanyodással már a fontosabb mikroelemek talajbani készlete is lecsökkent, a feltalaj pl. Mn, Na, Ba, Sr, Ni elemekben is elszegényedett. Az alginit kezeléssel az említett elemek e módszerrel kimutatott készlete megnőtt. Kiugróan a Sr-tartalom emelkedett, közel 5-szörösére. Ismert, hogy a Sr a Ca kísérőeleme. A kőzetekben és talajokban a Ca-nak mintegy 1%-át teheti ki. Az alginitre is ez a 100 körüli Ca:Sr arány jellemző. A kezelésektől

függetlenül átlagosan a Co 0,25 mg·kg⁻¹, Cr 0,10 mg·kg⁻¹, Mo és Cd 0,01 mg·kg⁻¹ körüli értéket mutatott (6. táblázat).

6.táblázat: Alginit kezelés hatása a talaj szántott rétegének NH₄-acetát+EDTA oldható elemtartalmára a N-kezelések átlagában, 2012 (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-kezelések átlagában	Ca	K ₂ O	Mg	Ba	Sr	Ni μg·kg ⁻¹
	mg·kg ⁻¹					
Kontroll	154	50	18	3,6	0,9	125
Alginit	730	62	104	4,8	4,4	330
SzD _{5%}	116	5	12	0,5	0,6	27
F-érték	***	***	***	***	***	***

Megjegyzés: Fe 120, Al 105, P₂O₅ 101, S 8, Na 7, Zn 0,6-0,9 mg·kg⁻¹, Co 250, Cr 100, Mo 20, Cd 10 μg·kg⁻¹ a kezeléstől függetlenül

A N x alginit kezelések hatása a tritikále termésére

A tritikále növényállományának fejlődését 1-5 skálán szemrevételeztük (bonitáltuk) három ízben a tenyészidő folyamán: bokrosodásban, virágzásban és aratáskor. Megállapítható volt, hogy az alginit a tritikále fejlődését egyre kifejezettebben segítette, különösen a 150 kg·kg⁻¹·év⁻¹ N-kezelésben, mely a vizsgált 50 év alatt drasztikusan elsavanyodott és terméketlenné vált. Az alginit kezelést követő első éves tritikále vetése után (2011.10.14.) egy hónapon át eső nem esett, a kelés elhúzódott. Ekkor még az alginit kedvező hatása sem érvényesülhetett.

Legnagyobb növénymagasságot és terméstömeget a 100 kg·ha⁻¹/év N-adagok biztosították a kontroll talajon. A N-hatások a vegetatív és a generatív fázisban (melléktermésben és a kalásonkénti szemtömegben, illetve 1000-szem tömegben) egyaránt ehhez a N-adaghoz kötődtek. A 150 kg·ha⁻¹/év kezelésben, ahol a talaj leginkább elsavanyodott az elmúlt évtizedekben, igazolhatóan csökkent a növénymagasság és terméstömeg depresszió lépett fel. A melléktermés (szalma+pelyva) tömege azonban kevésbé kifejezetten mérséklődött, mint a főtermésben, így a melléktermés/főtermés aránya tágult, az úgynevezett „harvest index” mutatója romlott. Az alginit leszántásával igazolhatóan nőtt a növényállomány átlagos magassága, csaknem megkétszereződött a szemtermés és az összes földfeletti biomassza tömege 3,7 t·ha⁻¹-ről 6,8 t·ha⁻¹-ra emelkedett. A harvest index pedig javult, döntően a szem g/kalász, illetve 1000-szem tömegmutató ugrásszerű emelkedésével (7. táblázat).

Legnagyobb növénymagasságot és terméstömeget a 100 kg·ha⁻¹/év N-adagok biztosították a kontroll talajon. A N-hatások a vegetatív és a generatív fázisban (melléktermésben és a kalásonkénti szemtömegben, illetve 1000-szem tömegben) egyaránt ehhez a N-adaghoz kötődtek. A 150 kg·ha⁻¹/év kezelésben, ahol a talaj leginkább elsavanyodott az elmúlt évtizedekben, igazolhatóan csökkent a növénymagasság és terméstömeg depresszió lépett fel.

7.táblázat: N x Alginít kezelések hatása a tritikále magasságára és légszáráz tömegére aratáskor 2012-ben (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-adag kg·ha ⁻¹ 1.év ⁻¹	Magasság cm	Szem	Mellékterm.	Együtt	Mellékterm.	Szemtömeg
		t·ha ⁻¹			szem	g/100 kalász
<i>Kontroll</i>						
0	49	1,30	1,57	2,87	1,2	35
50	60	1,86	2,44	4,29	1,3	54
100	62	2,15	2,54	4,70	1,2	65
150	55	1,18	1,74	2,92	1,5	31
<i>Alginít 100 t·ha⁻¹</i>						
0	56	2,01	2,36	4,37	1,2	58
50	63	3,31	3,75	7,06	1,2	81
100	68	3,87	4,52	8,39	1,2	97
150	64	3,38	3,93	7,31	1,2	76
SzD _{5%}	8	0,72	0,72	1,40	0,2	18
<i>N-kezelések átlagában</i>						
Kontroll	57	1,62	2,07	3,69	1,3	46
Alginít	63	3,14	3,64	6,78	1,2	78
SzD _{5%}	4	0,36	0,36	0,70	1,0	9
F-érték	**	***	***	***	**	***

A melléktermés (szalma+pelyva) tömege azonban kevésbé kifejezetten mérséklődött, mint a főtermésben, így a melléktermés/főtermés aránya tágult, az úgynevezett „harvest index” mutatója romlott. Az alginít leszántásával igazolhatóan nőtt a növényállomány átlagos magassága, csaknem megkétszereződött a szemtermés és az összes földfeletti biomasza tömege 3,7 t·ha⁻¹-ről 6,8 t·ha⁻¹-ra emelkedett. A harvest index pedig javult, döntően a szem g/kalász, illetve 1000-szem tömegmutató ugrásszerű emelkedésével (7. táblázat).

Tapasztalataink szerint az extrém nedves, csapadékos évek és az extrém száraz, vízhiányos évek egyaránt drasztikus terméseszkökhöz vezethetnek. A túl nedves időszakban az állomány kiritkul, fellépnek a szártó-betegségek, gombakártevők és elszaporodnak a gyomok. A nyári forró hónapokban viszont homoktalajon gyorsan fellép a vízhiány és „kisülhet” a növényzet. A 2012. évben részben, 2013-ban azonban egyaránt érvényesült a túlbő csapadék (vegetatív fázis) és a vízhiány (generatív fázis) tisztító hatása. Az időjárás eltérően hat a tenyészidő során a terméselemek képződésére (tőszám keléskor, kalászsorszám bokrosodáskor, ezermagtömeg érés idején). A kedvező időjárás a generatív fázisban növelheti az 1000-mag tömeget némileg ellensúlyozva pl. a vegetatív fázis negatívumait. Vagy fordítva. A negatív és pozitív hatások össze is adódhatnak. Termés a hatások eredőjeként alakul ki! Amint a 8. táblázat tanúsítja, az alginít 2013-ban nem tudta kifejteni látványosan pozitív hatását, bár a hatások igazolhatók. A szemtermés 1 t·ha⁻¹ alatt maradt, a föld feletti tritikále biomasza 1,5-3,0 t·ha⁻¹ között változott. A légszáráz gyomtömeg aratás idején a tritikále földfeletti légszáráz tömegének kb.

50%-át tette ki. Megemlítjük, hogy a kísérletben vegyszeres gyomirtást nem alkalmaztunk.

8. táblázat: A N x Alginít kezelések hatása a tritikále magasságára, légszár az tömegére és a légszár az gyomtömegre aratáskor 2013-ban (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-adag kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	Magasság cm	Szem	Melléktermés	Együtt	Melléktermés	Gyom t·ha ⁻¹
		t·ha ⁻¹			szem	
<i>Kontroll</i>						
0	44	0,73	1,47	2,20	2,1	1,1
50	36	0,49	1,25	1,74	2,7	1,0
100	39	0,54	1,34	1,88	2,6	1,0
150	38	0,38	1,10	1,48	3,6	0,9
<i>Alginít 100 t·ha⁻¹</i>						
0	47	0,93	1,83	2,76	2,0	1,1
50	43	0,69	1,70	2,38	2,5	1,1
100	50	0,76	1,68	2,43	2,5	1,7
150	49	0,89	2,11	3,00	2,4	1,2
SzD _{5%}	5	0,30	0,46	0,73	1,1	0,5
<i>N-kezelések átlagában</i>						
Kontroll	39	0,53	1,29	1,82	2,7	1,0
Alginít	47	0,81	1,83	2,64	2,4	1,3
SzD _{5%}	3	0,15	0,23	0,37	0,6	0,3
F-érték	***	***	***	***		*

A 2014. év kedvezett a tritikále fejlődésének. Rendkívül kifejezett N-hatások érvényesültek ebben a csapadékos évben. Az alginít kezelések látványosan tovább növelték a N-trágyázás hatékonyságát. A N + alginít együttes alkalmazása nyomán a tritikále szem és szalma termése megötszöröződött elérve a 10,5 t·ha⁻¹ légszár az biomassza tömeget a 150 kg·ha⁻¹·év⁻¹ N-trágyázott parcellákon. A légszár az gyomtömeget az alginít kezelés némileg növelte, míg a kontroll talajon a N-kínálattal járó nagyobb tritikále termés a gyomosodást láthatóan mérsékelte (9. táblázat).

9. táblázat: A N x Alginit kezelések hatása a tritikále magasságára, légszárz tömegére és a légszárz gyomtömegre aratáskor 2014-ben (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

N-adag kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	Magasság cm	Szem	Melléktermés	Együtt	Melléktermés	Gyom t·ha ⁻¹
		t·ha ⁻¹			szem	
<i>Kontroll</i>						
0	40	0,44	0,67	1,10	1,3	1,8
50	51	0,62	1,36	1,97	2,2	1,2
100	54	0,62	1,85	2,47	3,2	1,0
150	62	1,85	3,70	5,55	2,0	0,8
<i>Alginit 100 t·ha⁻¹</i>						
0	43	0,68	1,09	1,77	1,6	2,0
50	62	1,60	3,46	5,05	2,4	1,4
100	61	1,51	2,67	4,18	1,9	2,2
150	72	3,81	6,73	10,54	1,8	1,1
SzD _{5%}	10	0,84	1,18	1,84	1,0	0,9
<i>N-kezelések átlagában</i>						
Kontroll	52	0,88	1,89	2,77	2,2	1,2
Alginit	59	1,90	3,49	5,39	1,9	1,7
SzD _{5%}	5	0,42	0,60	0,94	0,5	0,5
F-érték	**	***	***	***		

A N x alginit kezelések hatása a szalma és a szem elemtartalmára

Amint a 10. táblázatban látható, a 2012-ben végzett elemösszetétel vizsgálatok alapján a kontroll talajon a N-kínálat emelkedésével (pH csökkenésével, az elsavanyodással) a K betöményedik, míg a Mg hígul a szalmában. A növényi Mn-felvétel és a pH ismert összefüggését tükrözi a Mn akkumulációja az elsavanyodó talajon. Az alginit kezelés eredményeképpen nő a Ca és Mg, illetve visszaesik a Mn a szalmában (meszezőhatás). Emlékeztetőül, a 100 t·ha⁻¹ leszántott alginit elemzéseink szerint 15,4 t·ha⁻¹ CaCO₃ egyenértéket képviselt, tehát egy melioratív meszezést jelentett. A bevitt S mennyisége 124 kg·ha⁻¹ volt. A szalma S-tartalma 0,07%-ról 0,12%-ra nőtt az alginit hatására.

Ami a mikroelemeket illeti. A N-kínálattal, illetve az erősödő savanyodással emelkedett a Zn, Ba és a Co, illetve mérséklődött a Mo koncentrációja a szalmában. A mészhatású alginit a N-kezelések átlagában csökkentette a Zn, Ba, sőt a Cu, Co és Ni akkumulációját is. A Mo közismerten lúgos közegben válik mobilissá, molibdenát anionként könnyebben felvehető a növények számára. A nyírségi talaj Mo-szolgáltatását tehát javíthatja az alginites kezelés, mely agronómiai és élettani/takarmányozási szempontból előnyös lehet. Megemlítjük, hogy a kezelésektől függetlenül az Al 127, Fe 136, Na 18, Sr 14, B 5 mg·kg⁻¹, míg a Cr 225, Cd 105 µg·kg⁻¹ átlagos tartalmat mutatott. A Se 0,12; Hg 0,10; As 0,08; Sn 0,05 mg·kg⁻¹ kimutatási határ alatt volt (10.táblázat).

10. táblázat: Alginit kezelés hatása a légszáraz tritikále szalma és mag elemtartalmára aratáskor 2012-ben a N-kezelések átlagában (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos)

Szalma						
N-kezelések átlagai	K	Ca	Mg	P	S	Mn
	%					mg·kg ⁻¹
Kontroll	0,80	0,18	0,06	0,10	0,07	221
Alginit	0,71	0,23	0,13	0,11	0,12	126
SzD _{5%}	0,10	0,04	0,02	0,02	0,02	44
F-érték		**	***		***	***
N-kezelések átlagai	Zn	Ba	Cu	Ni	Mo	Co
	mg·kg ⁻¹					μg·kg ⁻¹
Kontroll	16,6	19,7	5,2	3,0	0,39	164
Alginit	12,6	10,7	4,6	2,1	1,42	103
SzD _{5%}	2,2	2,3	0,5	0,7	0,50	37
F-érték	**	***	*	*	***	**
Szem						
N-kezelések átlagai	Mg	Mn	Zn	Ba	Mo	Cd
	%	mg·kg ⁻¹			μg·kg ⁻¹	
Kontroll	0,11	90	36	2,4	200	27
Alginit	0,14	42	32	0,4	889	63
SzD _{5%}	0,02	13	3	0,6	184	8
F-érték	***	***	**	***	***	***

Megjegyzés: a szalmában Al 127, Fe 136, Na 18, Sr 14, B 5 mg·kg⁻¹; Cr 225, Cd 105 μg·kg⁻¹ átlagosan a kezeléstől függetlenül. A magban Se 600, As 400, Pb 300, Ni 200, Hg és Cr 100, Co 40 μg·kg⁻¹ kimutatási határ alatt

A szem genetikailag védettebb, a kezeléshatások kevésbé kifejezettek. A kontroll talajon érdemben nem változott a N-kínálattal a K, P, S, Mg, Ca makroelemek koncentrációja. A Mn-akkumuláció viszont itt is kifejezett a szalmához hasonlóan. Az alginit alkalmazása (mészhatása) tükröződik az emelkedett Mg és Ca, illetve csökkenő Mn tartalmakban. Némileg nőtt a szemtermés S-készlete is, de statisztikailag egyértelműen nem bizonyítható.

Kontroll talajon a N-kínálattal (elsavanyodással) nagyobb Zn, Fe, Ba, illetve kisebb Mo tartalmakat mérünk. Az alginit-trágyázással, amint a N-kezelések átlagai mutatják, mérséklődött a Cd és 4-szeresére ugrott a Mo beépülése. Az As, Co, Cr, Hg, Ni, Pb, Se elemek koncentrációja a kimutatási határ alatt maradt (10.táblázat).

Következtetések, tanulságok

További egzakt kísérletekkel kellene feltárni az alginít alkalmazásának lehetőségeit pl. a szennyvizek, szennyvíziszapok, hígtrágyák stb. kezelésében, azok mezőgazdasági alkalmazását elősegítve. Károkat okozhat ugyanakkor, ha egyféle csodaszernek minősítve az alginitet, kereskedelmi érdekből vezérelve misztikus hatásokkal ruházzák fel. Tudományosan nem igazolt és nem publikált/ellenőrzött kísérletek és vizsgálatok nélkül. Üzleti érdekből vezérelve (nem tudományos írásokban) az alábbi állítások szerepeltek pl.(SOLTI 1999):

- Az ásvány humuszanyagainak specifikus biokémiai, növényi növekedést serkentő hatása van (?)
- Az ásvány egyszeri ajánlott adagja már az első évben 20-30%-kal növeli a talaj termékenységet (?), fokozza a termés biztonságát, korábbi érést és jobb minőséget eredményez.
- Alkalmas a szerves trágyák kiegészítő kezelésére, azok helyett (?) túladagolás veszélye nélkül teljes értékűen használható.
- Porított alginittel permetezett szőlőben 50%-kal csökkent a peronoszporafertőzés. Zöldségeknél 40-50%-kal javult az egészségesebb termés aránya és 10-15%-kal nőtt a termés (?)
- A kísérletek igazolták (?) azt a hipotézist, hogy az alginít nemcsak akár 30-80%-os terméstoppletet adhat, de a növényi sejtfal erősítésével betegség/kártevőkkel szemben is ellenállóvá tesz.
- Az ammóniával telített alginít a búza száraz tömegét 70%-kal növelte barna erdőtalajon (?)

Nos. Nem ismertek ki állítja ezeket, ki vizsgálta, milyen körülmények között. Így pl. az utóbbi esetben amikor a búza száraz tömege 70%-kal nőtt. Ebből mennyit volt a N-hatás (ammónia), mennyi az alginít hatása, illetve mekkora lehetett az esetleges alginít x ammónia kölcsönhatás? Az olvasó vagy elhiszi a termékismertető állításait, vagy nem.

Összefoglalás

A nyírlugosi savanyú homoktalajon 53 évvel ezelőtt beállított tartamkísérletben vizsgáltuk az alginít ásvány talajra és a tritikále növényre gyakorolt hatását 3 éven át, 2012-2014. években. Az alginít adagja $100 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ volt melyet 0, 50, 100, 150 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1}$ N-trágyázási parcellákra juttattuk ki 2011 őszén. Az eredeti $5 \times 10 = 50 \text{ m}^2$ területű parcellákat megfeleztük, a parcellák alginittal nem kezelt fele szolgált kontrollként. A $4\text{N} + 4\text{N}$ (alginittal) = 8 kezelés x 4 ismétlés = 32 parcellás kísérletet adott. Főbb eredmények:

1. Talajfizikai méréseink szerint az alginít kezelések nem módosították a talaj összporozitását, a vízkapacitást. A szabadföldi vízkapacitás azonban átlagosan 4,4%-kal nőtt, bár nem szignifikánsan. A kötöttség K_A 30,2 értékről 31,6 értékre emelkedett igazolhatóan.

2. Alginittal kezelt parcellákon a pH(KCl) 3,9-ről 6,2-re; CEC 1,3-ről 3,6-ra; EC ms/cm 21-ről 67-re; a bázistelítettség 53%-ról 74%-ra nőtt, míg a hidrolitos aciditás 10-ről 6-ra mérséklődött az első év után.

3. Alginittel kezelt parcellákon az NH_4 -acetát+EDTA oldható Ca 154-ről 730-ra; K_2O 50-ről 62-re; Mg 18-ről 104-re; Sr 0,9-ről 4,4 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$; Ni 125-ről 330 $\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre emelkedett.

4. Mindhárom kísérleti évben nőtt a tritikále szem és szalma termése. Alginit kezelés a hozamokat általában megkétszerezte, főként a N-nel jól ellátott 150 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1}$ parcellákon, melyek elsavanyodtak és Ca, Mg, K, P elemekben is elszegényedtek.

5. Alginittel kezelt parcellákon nőtt a tritikále mag Mg, Mo, Cd, illetve csökkent a Mn, Zn, Ba felvétele. A szalma Ca, Mg, S, Mo koncentrációja emelkedett, míg a Mn, Zn, Ba, Cu, Ni, Co elemek beépülését az alginit gátolta.

6. Az alginit hasonló savanyú homokok meliorációjára alkalmas ásvány, mely bőséges N-kiegészítés mellett megszüntetheti a talajok savasságát, javítja a víztároló kapacitásukat, kolloidkészségüket, tápelemekben való gazdagságukat, aszálytűrő képességüket, összefoglalóan a termékenységüket.

Irodalom

1. ALGINIT (1999): Talajjavító, kondicionáló ásvány. Lelőhelye: Magyarország. Alginit Kitermelő és Értékesítő Kft. Budapest. 8 p.
2. BANOS J. (1999): Több tízmilliárdos vagyon parlagon. Napi Magyarország. Gazdaság. 1999. Január 4. Évszázadokig tartó kincsünk az alginit. 1 p.
3. BARANYAI F., FEKETE A., KOVÁCS I. (1987): A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
4. BASCOMB, C. (1964): Rapid method for the determination of cation exchange capacity of calcareous and noncalcareous soils. *J. Soil Sci. Food Agri.* 15:821-823.
5. HELAL M.I.D. (2010): Alginit field trial in Egypt in the year 2010. Final Report. Terra Natural Resource GmbH. Germany and Switzerland. 14 p.
6. KÁDÁR I, SZEMES I, LOCH J, LÁNG I. (2011): A nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérlet 50 éve. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Akaprint. Budapest.
7. KJELDAHL, J. (1891): Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. *Zeitschr. f. analyt. Chemie.* 22:366-382.
8. LAKANEN, E. - ERVIÖ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. *Acta Agr. Fenn.* 123:223-232.
9. LÁNG I. (1963): A homoktalajok műtrágyázásának kérdései. *MTA Agrártud. Oszt. Közlem.* 22: 431-434.
10. MSZHK (2009): Gércei alginit forgalomba hozatali és felhasználási engedélye. Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Központ. Növény, Talaj és Agrárkörnyezetvédelmi Igazgatóság. 2009. Szeptember 8. Budapest. 8 p.
11. REX, M. & SCHERER, H. (2010): Impact of Alginit enrichments of a sandy soil on the soil and plant properties in a vegetation pot experiment. Report of results. Agric. Res. Station Kamperhof. Duisburg. Institute of Crop Science and Resource Conservation-Plant Nutrition. Univ. Bonn. 29 p.
12. SOLTI G. (1999): Az alginit. ZELBA Kft. Hungary-Magyarország. Piliscsaba. Budapest. 7 p. Kézirat. MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet. 1999. Január
13. TNR GMBH (2010): ALGINIT –DATA SHEET AND SPECIFICATION. Terra Natural Resources GmbH. Switzerland. Termékismertető. 2 p. [www. Alginit.com](http://www.Alginit.com)

A műtrágyázási szaktanácsadás ajánlott módszere

1. Általános rész

1.1. Fontosabb talaptípusaink és átlagos jellemzőik

A talajokat főként fizikai, kémiai tulajdonságaik és kialakulásuk alapján szokás csoportosítani. Meghatározó jellemzőik a kötöttség és a mészállapot. A kötöttség döntően megszabhatja a művelhetőséget, a műveléshez szükséges vonóerőt és a talaj eredeti tápanyaggazdagságát is. Kötöttséget elsősorban a talajrészecskék (homok, iszap, agyag) egymáshoz viszonyított aránya, a mechanikai összetétel alakítja ki. Ezek alapján megkülönböztetünk

- laza, könnyen művelhető, tápanyagszegény homoktalajokat,
- középkötött, közepes vonóerőt igénylő, közepes tápanyagtőkével rendelkező homokos vályog és vályog talajokat,
- kötött, nehezen művelhető, nagy tápanyagkészlettel rendelkező agyagos vályog és agyag talajokat, valamint
- nagyon kötött, nagyon nehezen művelhető, szántóföldi művelésre kevésbé alkalmas, rossz vízgazdálkodású talajokat.

A talajtulajdonságok és a termékenység kapcsolatát a korábbi fejezetek taglalták. A gazda naponta találkozhat e fogalmakkal a szaktanácsadás során, melyek segítik talajának megismerésében. Erre épülhetnek a szakszerű gazdálkodás elemei, művelési, talajjavítási, trágyázási beavatkozásai. Megemlítjük, hogy a mechanikai összetétellel változik (általában az agyagtartalommal egy határig együtt nő) a talaj humuszkészlete is. Ugyanakkor módosul a talajok vízgazdálkodása: a homok a vizet átveszti, míg az agyag vízzáró réteget képez. A homoktalajok 5-10, a vályogok 20-30, az agyag 30-35% vizet képes visszatartani. Így eltérő az aszályérzékenységük és a műtrágyák hatékonysága e talajokon.

A talajok fizikai félesége mellett a termékenység kialakításában fontos szerepet játszik a kémhatás (savanyúság, mésztartalom), melyet a pH értékek és a CaCO_3 % jellemez. A kémhatás befolyásolhatja a talaj szerkezetét, tápelemeinek felvehetőségét, a műtrágyák érvényesülését. A talajok kémhatás és mésztartalom szerinti osztályozásáról szintén könyvünk elején adtunk áttekintést. Az erősen savanyú, illetve extrémén meszes talajok szántóföldi művelésre javítás nélkül kevésbé alkalmasak, hasonlóan a durva homok és igen nehéz agyag mechanikai összetételű talajokhoz. A szántóföldi hasznosításban leggyakrabban előforduló és hazánkban összefüggő nagyobb területeket elfoglaló talajok a következők:

Mezőségi vagy csernozjom talajok

Síkidéken, eredetileg füves növénytakaró alatt, meszes altalajon képződtek és általában mély humuszos talajszelvényvel, kedvező morzsalékos talajszerkezettel, jó levegő- és vízgazdálkodással rendelkeznek. Tápanyag-szolgáltatásuk is jó, szerves anyaguk sok nitrogént (N) tárol. A feltalajban 3% körüli humuszt tartalmazó alföldi és mezőföldi csernozjom évente 100-150 kg ha⁻¹ nitrogént szolgáltathat a növénynek hosszú időn át. Káliumot (K₂O) hasonló mértékben biztosíthat a vályog vagy kötöttebb csernozjom egyenletes mállása. E talajok ugyanakkor foszforral

(P₂O₅) eredendően gyengén ellátottak. A foszfortrágyákat, szuperfoszfátot viszont jól hasznosítják és a növények számára felvehető formában megőrzik. Amennyiben a vízellátás is megfelelő, maximális terméseket érhetünk el trágyázással. Művelhetőségük kielégítő, gyakorlatilag minden kultúrnövény sikerrel termeszthető e termőhelyeken.

Kötött barna erdőtalajok

Közös jellemzőjük, hogy az erdő, ill. fás növényzet alatt képződtek. Megfigyelhető kilúgzásuk, elsavanyodásuk, a talajszelvény szintekre tagolódása. A művelésbe vont barna erdőtalajok általában megfelelő tápanyag-, víz- és levegőgazdálkodással rendelkeznek. Művelhetőségük kielégítő, a főbb szántóföldi kultúrák biztonságosan termesztethetők. A talajok nitrogén és foszfor ellátottsága eredendően gyenge, jelentősebb agyagtartalmuk következtében viszont a K-szolgáltatásuk kielégítő. A szántott rétegben meszet nem tartalmaznak, humuszban szegényebbek, többé-kevésbé savanyúak. Az erősen kötött változat tömődöttségre, levegőtleniségre hajlamos, ezért a mechanikai talajlazítás javíthatja vízbefogadó és vízáteresztő képességét, levegőzöttségét és a műtrágyák érvényesülését. A nitrogén és foszfor műtrágyák mellett a mésztrágyázás is indokolt lehet.

Kötött réti talajok

Kialakulásukban nagy szerepet játszott az időszakos túlnedvesedés. A talajok pórusterét kitöltő víz a levegőt kiszorítja (gyökérlégzés gátolt). Rossz a talajszerkezet, duzzadó-zsugorodó, időnként tapadó, tömörödsre hajlamos, nyáron mélyen repedező és kiszáradó. Általában nehéz és magas vízállású „hideg” talajokról van szó, melyek nehezen művelhetők. Tápanyagtökéjük kielégítő, de termékenységüket korlátozhatja a túlzott agyagtartalom, a rossz vízgazdálkodás, a feltalaj gyakori savanyúsága, lassan feltáródó humusza. Elsősorban nitrogén és foszfor műtrágyákat igényelnek, kálium-szolgáltatásuk megfelelő. A kötöttebb barna erdőtalajokhoz hasonlóan előnyös a mechanikai talajjavítás, vízrendezés és meszesítés, mellyel a műtrágyázás hatékonysága is ugrásszerűen nőhet.

Laza homokos talajok

Könnyű mechanikai összetétel, az agyag és humusz kis mennyisége kicsi, de mobilis tápanyagtöke jellemzi. Nyírség és Somogy homokos talajai felszínükben savanyúak (mészhiányosak), míg a Duna-Tisza közén többé-kevésbé meszesek. Mivel a vizet és a tápelemeket kevésbé tudják visszatartani, gyakoribb trágyázást igényelnek kisebb adagokkal. Nitrogén, foszfor és kálium tápelemekben egyaránt eredendően szegények. Savanyú változataik mész (Ca) és magnézium (Mg) igényesek is. A termésbiztonság ingadozó, a műtrágyák érvényesülése is változó, főként a csapadékellátottság és a talajvíz szintje, mélysége függvényében. A humuszban, agyagban gazdagabb változatok termékenyebbek. A nyírségi savanyú talajok termékenységét az altalaj részben vízzáró, agyagos „kovárványos” rétegei javíthatják.

Összehasonlítás céljából, iránymutató jelleggel az *1. táblázatban* áttekintést adunk a tárgyalt főbb művelésbe vont talajok fizikai és kémiai jellemzőiről. Hangsúlyozni szükséges azonban, hogy a talaj minőségének, termékenységének,

trágyaigényességének elbírálásához a talajtípus megjelölése nem elégséges. A mezőségi vagy „csernozjom” talaj szántott rétege egyaránt lehet agyagos, vályogos vagy homokos vályog, lehet savanyú (kilúgzott), vagy eltérő mértékben meszes. A tábla múltjából, trágyázásából eredően tápelemekkel gyengén vagy jól ellátott. Lehet kevésbé (talajvíz 3-4 m mélyen) vagy kifejezetten aszályérzékeny, amikor a talajvíz 10-15 m mélyen helyezkedik el. A humusztartalma szintén viszonylag tág határok között ingadozhat. A talaj termékenységét, művelhetőségét, a műtrágyák hatékonyságát konkrétan azok a mért tulajdonságok határozhatják meg, melyek táblaszinten jelentkeznek. Ezt a célt szolgálja az időnként (4-5 évenként) végzett talajvizsgálat.

1. táblázat: Főbb művelésbe vont talajok fizikai és kémiai tulajdonságainak jellemzése a szántott rétegben (Tájékoztató adatok)

Talajok Jellemzői	Mezőségi talajok	Barna erdő- talajok	Kötött réti Talajok	Laza homokos talajok
Kötöttség (K _A)	35-45	40-55	50 felett	30 alatt
Humusz %	2,5-4,0	1,6-2,5	3,0-5,0	0,5-1,5
CaCO ₃ %	0-10	-	-	0-10
pH(H ₂ O)	6,5-7,5	4,5-6,5	4,0-6,5	4,0-8,0
AL-P ₂ O ₅ mg/kg	80-120	40-80	80-140	40-100
AL-K ₂ O mg/kg	150-250	200-300	250-350	40-100

1.2. A tápelempótlás jelentősége

Leegyszerűsítve termékenynek minősül az a talaj, mely képes a növényeket vízzel és tápelemekkel folyamatosan ellátni. Vizet a csapadék vagy öntözés pótolhatja, a talaj tápelem készlete azonban véges. A tápanyagellátás, a trágyázás ezért meghatározza a művelt talajaink termékenységét és ezen keresztül a növénytermesztés, illetve az egész mezőgazdaság teljesítőképességét. Szakszerű, gazdaságos trágyázás a ténylegesen hiányzó (minimumban található) tápelemek pótlását célozza. A hazai termelés számára fontosabb tápelemek élettani hatása és hiánytünetei részben az alábbiakban foglalhatók össze:

Nitrogén (N): Hiányában nem képződik fehérje, a növények elsárgulnak és fejletlenek maradnak. Csökken a termés és a minőség, megnehezül egyéb tápelemek felvétele. Túlsúlya viszont dús, haragoszöld lombzatot, lassú érést, fellazult növényi szöveteket, fokozott betegség-fellépést, kifagyást, megdőlést, csökkenő termést és romló minőséget eredményezhet. Hiánya főként csapadékos, túlsúlyos aszályos évben gyakori.

Foszfor (P): Hiányában gátolt a gyökérfejlődés és a lombképződés, a gabonafélék gyengén bokrosodnak, ritkulnak. Romlik a minőség, betegségekkel szembeni ellenállás, csökken a termés. Míg a nitrogén a vegetatív zöld növényi részek fejlődését segíti, a foszfor az érést, a virág és a magvak kialakulását. Fontos

tehát a két elem aránya, kiegyensúlyozottsága a növény táplálásában. A megfelelő P-kínálat javítja a vízhasznosulást, bizonyos határig ellensúlyozza a szárazság kedvezőtlen hatását. Túlsúlya közvetetten vezethet nemkívánatos jelenségekhez: csökkenhet a tőszám és más fontos mikroelemek felvétele, ezzel a betakarítható termés és annak minősége.

Kálium (K): Hiányában gátolt a növekedés, a nitrogén és a foszfor beépülése, a szénhidrátok, mint a cukor, keményítő, nyersrost, képződése. Emiatt romlik a minőség, télállóság, betegség-ellenállóság és főként a szárazság-tűrés. Kálium hiányára különösen érzékenyek a zöldségfélék, gyümölcsfák és a kapáskultúráink, döntően a laza talajokon. Túlsúlya ritkán áll elő és közvetetten jelentkezhet más elemek, mint pl. a kalcium (Ca), magnézium (Mg), bór (B) felvételének gátlásában. A hiány- és túlsúlytünetek felismerése vizuálisan még a szakembernek is nehézséget okoz, mivel azokat, ill. azokhoz hasonló tüneteket mechanikai sérülések, gombás betegségek, rovarkártételek is kiválthatják. Több elem hiánya vagy túlsúlya szintén okozhat hasonló tüneteket. A tápláltsági állapotot megbízhatóan növényanalízissel ellenőrizhetjük, mely feltárja az egyes elemek koncentrációját és azok egymáshoz való arányát a növény szöveteiben. A fontosabb mikroelemekre, azok hiányára a növényfaj és a talajviszonyok utalhatnak.

Magnézium (Mg): Hiányában gátolt a zöld növény, illetve a levél fejlődése, mivel a Mg a klorofill központi eleme. Nélküle nincs fotoszintézis, szerepet játszik a szénhidrátok és a fehérje képződésében. Mg-hiányos talajon csökken a termés, romlik a minőség. A Mg-hiány egyre gyakoribb hazánkban, főként a savanyú laza talajokon (Nyírség, Somogy). A K-túlsúly szintén Mg-hiányt idézhet elő más talajon is. A Mg-nak másodlagos szerepet tulajdonítottunk korábban, pótlása nem vált gyakorlattá. Ennek részben az is oka volt, hogy a nyers, Mg-ot is tartalmazó kálisókkal Mg-ot is vittünk a talajba. A koncentrált K-műtrágyák elterjedése miatt szükségessé válik a Mg-trágyázás a Mg-mal gyengén ellátott talajokon és a Mg-igényes növények esetén.

Kén (S): Hiányában gátolt a S-tartalmú aminosavak, fehérjék és olajok képződése. A S és a N növénybeni funkciói részben hasonlóak. A nagy fehérjetartalom többnyire nagy kéntartalommal párosul, a S-hiány tünetei hasonlóak a N-hiány tünetekhez. A kénhány korábban ritkán fordult elő, a S-trágyázás nem vált gyakorlattá. A szennyezett levegőből csapadékkal, valamint a szuperfoszfát műtrágyák bőséges alkalmazásával több kén jutott a talajba, mint amit a növények felvettek. Az említett S-források beszűkültek, a kénterhelés töredékére esett vissza. A kilúgzott kénhányos talajokon, kénigényes olajos magvú növényeknél, mint a repce, napraforgó, mustár már egyre gyakrabban kell kénhánnal számolnunk.

Kalcium (Ca): Hiányában gátolt a gyökérképződés, hosszirányú növekedés és fejlődés. A mészhiányos savanyú termőhelyeken ugrásszerűen megnőhet számos nehézfém felvétele, mely a növény mérgezéséhez vezethet. Gyengül a szárszilárdság, betegségekkel szembeni ellenállás, romlik a termés minősége. A savas csapadék, illetve a savanyúan ható műtrágyák nyomán mészhiányos talajaink tovább savanyodnak. A mésztrágyázás elengedhetetlenné vált az 5 pH(H₂O) alatti talajainkon a termékenység fenntartása céljából. Fontos, hogy a Mg-ban is hiányos területeken a meszező-anyag egy részét Mg-ot is tartalmazó dolomitban adjuk.

Vas (Fe): Hiánya erősen meszes, foszforban gazdag talajokon léphet fel a herefélékben, szójánál, borsónál, szőlőnél.

Mangán (Mn) hiánya erősen meszes, vagy szerves anyagban gazdag talajokon gyakori a kalászosok, lucerna, répafélék, pillangósok, gyümölcsfák esetén. Túlsúlya savanyú talajon fordulhat elő.

Cink (Zn) hiánya nálunk erősen meszes és foszforban gazdag talajokon gyakori a kukoricában, előfordulhat a hüvelyeseknél, füvekben, szőlő és gyümölcsösben. Túlsúlya szennyezett ipari körzetekben, autópályák mentén lévő városi kertekben és savanyú talajokon okozhat gondot.

Réz (Cu) hiánya főként meszes homoktalajon gyakori, ahol foszforral is túltrágyáztak. Láptalajokon szintén kialakulhat hiánya, mert a szerves anyaghoz erősen kötődik. Érzékenyek hiányára a gabonafélék, kapáskultúrák, hüvelyesek, egyes zöldségek és gyümölcsfák. Túlsúlya szennyezett területeken, ipari körzetekben, autópályák mentén és rézgáliccal évtizedek óta permetezett gyümölcsösökben gyakori.

Bór (B) hiánya erősen kilúgzott savanyú homokokon, lápon és túlmeszezt talajon jelentkezhet gabonafélékben, pillangós takarmányokban, napraforgónál, zöldség és gyümölcs kultúrákban.

Nátrium (Na) nem kifejezetten növényi tápelem. Répafélék Na-kedvelők és a szikes gyepek szénája halmozza fel. Takarmányozási szempontból előnyös a nagy Na-tartalom.

Molibdén (Mo) hiánya főként savanyú talajon fordul elő, ahol a Mo felvehetősége gátolt. Mo-igényes növények a pillangósok, zöldségfélék. Túlsúlya Cu-hiányt okoz. Amennyiben a Cu:Mo arány 5:1 alatt van a takarmányban, Cu-kiegészítés szükséges.

Ismeretes, hogy normál talajon a kalászosok jól reagálnak a nitrogén- és foszfortrágyázásra, míg K-hatásokat csak a laza szerkezetű homok vagy láptalajokon mutatnak. A burgonya és a kukorica ugyanazon a termőhelyen főként N és K trágyázást igényel, míg a hüvelyesek és pillangósok P-igényükkel tűnnek ki. A zöldségfélék általában bőséges N és K ellátást kívánnak, különösen a leveles zöldségek. A N-bőség ugyanakkor rontja a cukorrépa, dohány és az olajnövények minőségét.

A hazai és nemzetközi tapasztalatok szerint minden kg műtrágya-hatóanyagra, tehát a 3 kg körüli műtrágyára (átlagos termesztési körülmények között) 10 kg körüli szemtermés-többlet adódik. Gyepek esetében pedig 100 kg zöldfü többlettermésel számolnak. A szakszerű műtrágyázás hatékony és gyorsan megtérülő befektetés, a megtérülés 1 év alatt 2-3-szoros lehet. Ezért is támogatják a műtrágyák vásárlását a rövid lejáratú „zöld” hitelekkel sok országban. A talaj termékenységének megőrzése, illetve a bővített újratermelés trágyázással elsőbbséget élvezhet a tőkebefektetések során, hiszen meghatározó lehet az egyéb beavatkozások, mint a fajta; művelés; növényvédelem hatékonysága tekintetében.

1.3.A trágyaszükséglet becslésének módszerei

A trágyaigényt vagy műtrágyaigényt csak becsüljük, hiszen azt a tenyésző folyamán számos tényező, főként az időjárás befolyásolhatja. A „becslés” azonban lehet szakszerű és tudományos alapon nyugvó, mert a számítás módszerei kidolgozottak. Amennyiben a trágyázás vakon történik, hatékonysága is véletlenszerű, nem ritkán gazdaságtalan és környezetkárosító lesz. A trágyaadagok számításánál, a trágyázásnál általában kettős célt követünk: jó minőségű nagy termés elérése az adott évben, valamint a talaj termékenységének hosszú távú megőrzése, vagy ha szükséges, növelése.

1.3.1. Szabadföldi próba vagy kísérlet módszere

A legősibb és a gazda számára ma is pótolhatatlan módszer. Kijelölünk a tábla egynemű részén pl. 10x10 m = 100 m² mintaterületeket. Kijuttatjuk a vizsgálandó trágyát (esetleg annak növekvő adagját) és mérjük a területek termését a kontroll (trágyázatlan vagy hagyományosan trágyázott) és a kezelt területeken. A mintaterületeket legalább 4 ismétlésben kell kijelölni, hogy megbízható eredményekhez jussunk. Előnyös, ha a vizsgálatok több éven át folynak ugyanazon a helyen. Nagy táblán mintaterületül szolgálhat a műtrágyaszóró szóráscsíkja, illetve termésmérésnél a kombájncsíkok. Évente 1-1 táblán 1-1 növényfaj trágyaigénye becsülhető ilyen módon.

1.3.2. Talajvizsgálatok módszere

Mivel a talajba nem látunk bele, célszerű 5-6 évenként a táblák talaját elemezni, hogy a növények számára hasznosítható elemkészletekről információt szerezzünk. Különösen a homokos talajokon, melyek tápelem készlete gyorsan változhat, kiürülhet és tápelem-hiányok vagy aránytalanságok állhatnak elő. A foszfor és kálium ellátottsági kategóriákat a 2. táblázat szemlélteti. Amennyiben nagy vagy

2. táblázat: A talajok Ammóniumlaktát (AL) Oldható P₂₀₅ és K₂₀ tartalmának ellátottsági határértékei a szántott rétegben (In: Kádár 1992)

A termőhely Talaja	Tápelem-ellátottsági kategóriák határkoncentrációi			
	Gyenge	Közepes	Kielégítő	Nagy vagy túlzott
AL-P ₂₀₅ mg/kg talajban				
Savanyú	50 alatt	50- 80	80-120	120 felett
Semleges	80 alatt	80-120	120-150	150 felett
Meszes	100 alatt	100-150	150-200	200 felett
AL-K ₂₀ mg/kg talajban				
Homokos	50 alatt	50-100	100-150	150 felett
Vályogos	100 alatt	100-150	150-200	200 felett
Agyagos	150 alatt	150-200	200-250	250 felett

túlzott az ellátottság, az újabb talajvizsgálatokig szüneteltethető az adott elem pótlása. Kielégítő ellátottságon a trágyázás néhány évig terméscsökkenés nélkül

szüneteltethető, különösen a kevésbé trágyaigényes növényeknél. Cél azonban a kielégítő ellátottság megőrzése. Ilyen esetben a betakarított növényi termésbe épült elemek egyszerű pótlására szorítkozhatunk. Igen gyengén ellátott talajon ennek akár többszörösét is indokolt lehet kijuttatni a trágyaigényes kultúrák alá, illetve a talajtermékenység javítása érdekében.

A főbb szántóföldi növények termésébe épült elemek átlagos mennyiségéről a 3. táblázat adatai tájékoztatnak. Látható, hogy a magtermés főként nitrogénben és foszforban gazdag, míg a melléktermés káliumban és kalciumban a kalászosok, hüvelyesek és olajnövények esetén. Ahol a főtermés nem a mag, hanem a vegetatív levél (dohány), hajtás (lucerna, here, rét szénája), vagy gyökgumós (répagyökér,

3. táblázat: Főbb szántóföldi növények és a gypszéna átlagos elemfelvétele kg-ban (Irodalmi és saját elemzések adatai alapján)

N.	Növényfaj	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	S
1 t főtermés a hozzávaló mellékterméssel							
1.	Kalászosok	22	11	20	7	4	4
2.	Kukorica	20	10	15	5	7	3
3.	Repce	50	24	70	50	16	16
4.	Napraforgó	50	20	70	25	20	10
5. ^x	Borsó, bab	55	15	40	30	13	7
6.	Gypszéna	28	8	30	8	5	3
7.	Lucerna széna	40	9	35	17	7	3
8.	Silókukorica	3,8	1,6	4,5	1,8	1,1	0,5
9.	Cukorrépa	4,0	1,1	6,0	2,0	1,0	0,8
10.	Burgonya	4,5	1,5	6,0	2,0	1,3	0,5
1 t főtermés (melléktermés leszántva)							
1.	Kalászosok	16	8	6	1	2	2
2.	Kukorica	16	7	6	1	2	2
3.	Repce	30	12	20	13	5	10
4.	Napraforgó	30	15	13	3	5	7
5.	Borsó, bab	40	11	12	2	3	3
6. ^{xx}	Cukorrépa	3,0	0,8	5,0	0,7	0,6	0,3
7. ^{xx}	Burgonya	3,5	1,2	5,0	0,1	0,9	0,3

^xN-kötés részben a levegőből történik. ^{xx} Friss gyökér, illetve gumótermésben.

burgonyagumó), ott a kálium és kalcium felvétele is jelentős. A hüvelyes és pillangós növények nitrogén szükségletüket részben vagy egészben a levegőből fedezik, így csak 20-30 kg ha⁻¹ N-trágyát igényelhetnek vetés előtt, amíg a szimbiózis a N-kötő mikroorganizmumokkal beindul. A talajok 0-60, vagy a mélyebben gyökerező

növényeknél 0-90 cm rétegének nitrát-nitrogén (NO₃-N) készlete műtrágyával egyenértékű. A vetés előtt végzett talajvizsgálat eredményei alapján tehát eldönthető, hol és milyen mértékben csökkenthető, esetleg el is hagyható a N-trágyázás. Az olajos magvak kénben igen gazdagok.

1.3.3. Tápelemmérlegek módszere. A táblatörzskönyv

Az igényes gazda táblatörzskönyvet vezet és nyilvántartja az évenkénti termés-eredményeket, a betakarítás módját (melléktermés leszántása vagy elvitele a tábláról), ill. az agrotechnikai beavatkozásokat. Fontos tudni, hogy mennyi és milyen trágyaféleséget alkalmazott, a meszezés adagját, az esetleges meliorációt stb. A táblára juttatott trágyaszerek, valamint az elvitt termések összetétele és mennyisége alapján ellenőrizheti a tápelemek forgalmát, talajainak termékenységét, annak változását. Ezzel a talajvizsgálati eredmények is megbízhatóbban értelmezhetők párhuzamosként szolgálva, esetleg részben elhagyhatók. A módszer előnye, hogy nem igényel költséges eljárást, csupán tollat és papírt (esetleg számítógépet), valamint a négy számtani alpműveletet. A növények, növényi részek és a trágyaféleségek összetételét (saját elemzés híján) átlagszámokkal becsülheti.

Az adott táblára jellemző átlagtermés szintet (kedvező évjáratra számítva az ott elérhető maximális termést) figyelembe véve kiszámolhatók a szükséges tápelem mennyiségek. A harmonikus fejlődés érdekében mindezt biztosítani kell a növények részére a közepesen vagy annál gyengébben ellátott talajon. A hiányzó tápelemek a megfelelő összetételű és mennyiségű műtrágyával pótolhatók, melyhez vegyük figyelembe a műtrágyaigényt módosító tényezőket.

1.4. Műtrágyaigényt módosító tényezők figyelembevétele

Míg a meszes homokon a Duna-Tisza közén a Ca és Mg túlsúlyával találkozunk, a nyírségi és somogyi savanyú homokok Ca és Mg elemekben szegények. Mindkét talaj illetve homokvidék szegény viszont agyag és humusz kolloidokban. Ha a talajvíz nincs túl mélyen és nem sós, fő gondot a tápanyagellátás okozhatja meszes és savanyú homokon egyaránt. Másképp igénylik a műtrágyákat a meszes talajok, illetve a savanyú talajok. Utóbbiak mész + magnézium trágyákkal kiegészítve.

Mélyen gyökerező ültetvények esetén (gyümölcs és szőlőtelepítések, erdőgazdálkodás) az altalaj minősége döntő lehet. Itt először az altalajt kell megismerni és ha szükséges a talaj fizikai tulajdonságait kell javítani. Mindez jelentheti a homokkópad áttörését, altalajlazítást, kolloiddal való gazdagítást agyagos föld, agyagásványok, szerves trágyák, iszapok, komposztok bekeverésével. Kérdés, honnan teremthető elő a kolloidális anyag és az eljárás mennyire lehet gazdaságos?

Természetesen az istállótrágya, a virágzás előtt lekaszált és sekélyen leszántott zöldtrágyák (somkóró, szarvaskerep, savanyú talajon a csillagfürt) szintén talajjavítók. Erősen meszes kolloid/káliumszegény talajon javasolt a káliumszulfát erősen savanyító műtrágya alkalmazása. A K₂SO₄ nemcsak kálium és kén tápelemeket szolgáltat a növényeknek hanem talajjavítóként is hat. Mérsékelheti helyileg a mész, magnézium, esetleg a nátrium túlsúlyát és helyreállíthatja a termékenység szempontjából kedvezőbb K/Ca, K/Mg, K/Na arányokat.

A káros termőhelyi tényezők feltárása elengedhetetlen. Előfordul, hogy a búza, kukorica, répa, burgonya és a zöldségfélék jól teremnek, míg a mélyen gyökerező kultúrák mint a gyümölcsfák, szőlő egy idő után kipusztulnak. Termékenységet korlátozó tényező lehet az erősen tömődött, levegőtlen, rossz vízvezetésű agyagréteg. Helyenként sós/szikes talajvizek vannak és szikes talajréteg akadályozza a gyökerek fejlődését. Amikor a fák gyökerei elérik ezt a réteget, termőképességük csökken, majd kipusztulhatnak.

A homoktalajok trágyázása és meszezése különös gondosságot kíván. Itt egyébként is kevesebb növény termeszthető biztonsággal a szélsőséges hő-, víz- és tápanyag-gazdálkodási viszonyok között. A kolloidszegény termőhelyeken gyorsan kialakulhatnak tápelemhiányok vagy -túlsúlyok. A kiegyensúlyozott növénytáplálás kontrollja tehát fontossá válik, szakszerűtlen trágyázás vagy meszezés rövid idő alatt termés-csökkenést eredményezhet. Az alábbiakban összefoglaljuk a műtrágyázás és meszezés alapelveit a gyakorlat számára, melyek követése a racionális gazdálkodást, valamint a környezet védelmét egyaránt szolgálhatja.

A túltrágyázást és az alultrágyázást egyaránt el kell kerülni. A nitrogén esetében ez azt jelenti, hogy a trágyákkal (műtrágya + szerves trágya N készlete) bevitt N mennyisége nem haladhatja meg a tervezhető termés N felvételét. A talaj 0-60 cm rétegének $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalmát is fontos meghatározni, mert ezzel a N trágya mennyisége csökkenthető. Az 5 t/ha búzatermés 130-140 kg ha⁻¹ N-t vehet fel. Amennyiben vetés előtt 70 kg ha⁻¹ $\text{NO}_3\text{-N}$ található a talajban, a N-igény felére csökken.

A tervezett termés P és K felvételéből kiindulva az 5 t/ha körüli búzatermés pl. 55 kg P_2O_5 és 90 kg K_2O adagot igényelhet. Ha a tábla kielégítően ellátott foszforral és káliummal, akkor közelítően ilyen trágyázás indokolt, hogy a talaj termékenysége ne csökkenjen. Gyengébb ellátottság esetén ennek 1,5-2-szeresét, jobb ellátottságon pedig arányosan kevesebbet adhatunk, esetleg az újabb talajvizsgálatokig a foszfor és kálium-trágyázás el is hagyható. A talaj P és K ellátottságának megítélésére szolgáló határkoncentrációkat a 2. táblázatban mutatjuk be. Összeállításuk a hazai szabadföldi műtrágyázási tartamkísérletek tapasztalatai alapján történt. A P és K műtrágyákat összevont adagban 2 évenként is alászáthatjuk, nem szükséges az évenkénti pótlás.

Savanyú homokon a mésztrágyázás a termékenység megőrzésének fontos része. Célszerű a talaj pH értékét 3-5 évente ellenőrizni és azt a kívánatos 5-6 pH(KCl) között tartani. A rendszeres 0,5 t/ha adagú mészkőpor vagy dolomitpor alkalmazása elejét veszi a talaj elsavanyodásának és pótolja a Ca és Mg készletét. Homoktalajon kerülni kell a túl nagy adagokkal végzett meszezést, mert a növények termését csökkentheti tápelemhiányokat okozva. A meszezést gyakrabban és kis adagokkal kell végezni (mésztrágyázás), megengedhető a 3-4 évenkénti 2 t/ha mészkőpor vagy dolomitpor alkalmazása.

A műtrágyaszükségletet csökkenti a melléktermékek leszántása, a felhasznált istállótrágya, hígtrágya, komposzt, valamint a pillangós elővetemény. A megfelelő vetésforgó tehát nemcsak a gyomok és a betegségek előfordulását mérsékelheti, hanem a trágyaigényt is. Homokkultúrában túltrágyázására kényszerülünk, mert a növények egyoldalúan merítik ki a talaj tápelemkészletét, hisz ugyanazon frakciókból és talajrétegekből táplálkoznak. A melléktermékek főként K-ban és Ca-ban gazdagok, a földfeletti termésbe épült K és Ca 2/3-a vagy 3/4-e a gabonafélék szalmájában, a napraforgó szárában és tányérjában található, melyek leszántva visszajutnak a talajba.

Minden tonna kalászos szemtermése után átlagosan mintegy 10, kukorica szemtermése után 15, napraforgó kaszattermése után 60 kg ha⁻¹ K₂O juthat vissza a talajba a melléktermés leszántásával ha-onként. A közepes minőségű almos istállótrágya átlagosan 40 kg N, 40 kg P₂O₅ és 70 kg K₂O bevitelét jelenti a talajba műtrágya-egyenértékben, azaz ennyivel csökken a vásárolt műtrágya iránti igény. Az istállótrágya tápanyagainak fele az első, másik fele a következő évben válhat felvehetővé a növények számára homoktalajon. A hígtrágyákban átlagosan 1-1,5 kg N, 0,4-0,6 kg P₂O₅ és 0,8-0,9 kg K₂O található, mely az első évben felvehető. A trágyaigényt módosító tényezőket az alábbi 7 pontban kíséreltük meg számszerűen megadni:

1. A N-igény csökken egyéves pillangós elővetemény után átlagosan 30, pillangóst követően pedig az állománytól függően 40-60 kg/ha/év mennyiséggel.
2. A N-igény nő humuszban szegény és nitrogénnel gyengén ellátott talajon tág C:N arányú és nagy tömegű szerves anyag (szalma, kukorica és napraforgó szára stb.) leszántásakor, 8 kg N/t szármaradványra számolva.
3. A tervezett termés tápelemigénye csökken, amennyiben az elővetemény termése lényegesen elmaradt a tervezettől valamilyen elemi kár, mint pl. szárazság, fagykár, betegség miatt. A közepesnél jobban ellátott kötöttebb talajokon, az előző évben felhasznált trágyák utóhatását tekintetbe véve, az előző növény által fel nem vett NPK mennyiség 50%-ával.
4. A fajlagos átlagos K₂O igény csökken kombájn betakarításnál, amikor csak a szem távozik a tábláról. A kalászosoknál 10, a kukoricánál 15, míg a napraforgónál 60 kg/t-val kevesebb kálium mennyiséggel számolunk (tehát 70 helyett 10 a fajlagos igény utóbbi esetben).
5. Az NPK-igény csökken az alábbi módon, közepes minőségű almos istállótrágya leszántásakor, 10 t istállótrágyára vetítve:

Első évben	20 kg N	20 kg P ₂ O ₅	40 kg K ₂ O
Második évben	20 kg N	20 kg P ₂ O ₅	30 kg K ₂ O
Összesen a forgóban	40 kg N	40 kg P ₂ O ₅	70 kg K ₂ O

6. Az NPK-igény csökken az alábbi módon, átlagos összetétellel számolva, minden m³ hígtrágya leszántásakor:

Friss trágya	1,5 kg N	0,6 kg P ₂ O ₅	0,9 kg K ₂ O
Állott trágya	1,0 kg N	0,4 kg P ₂ O ₅	0,8 kg K ₂ O

7. A P₂O₅ igény mintegy 20%-kal nő, amennyiben a talaj CaCO₃ %-a 20 felett van, tehát túlzott a karbonátosság, vagy a pH(KCl) 5 alatti, tehát túlzott a savanyúság. Mindez a gyenge és közepes ellátottság esetén javasolt.

Trágyaigényes növényeknél még a „kielégítő” ellátottságon is esetenként csupán mérsékelt termésszint várható. Azaz fennáll a terméskiesés valószínűsége. Ezért teljes vagy 1,5-szeres visszapótlásra törekszünk e növények esetén, míg a nem trágyaigényeseknél 0,5-szörös visszapótlás javasolt (napraforgó kötöttebb talajon). Összességében a fenntartó trágyázást valósítjuk meg a forgó egészére. Közepes ellátottságon a gazdaságosan nagy termések már nem érhetők el jelentősebb trágyázás

nélkül. Ezért itt 1,5-2-szeres PK trágyázás is indokolt lehet, hiszen a talaj nem kielégítően ellátott. A nem trágyaigényes növények tervezett tápelemigényét is biztosítjuk. Homokon a napraforgó is trágyaigényessé válik, tehát a 1,5-2-szeres PK trágyázással számolunk. Célunk a talaj ellátottságának növelése, lassú feltöltése. A teljes N-igény pótlása indokolt. A talaj N-készletével a trágyaigény hasonló módon csökken.

A gyenge vagy igen gyenge ellátottságon minden növény jelentős trágyázást igényel, különösen homoktalajon. A gazdaságos termésmaximumok elérése céljából trágyaigényes növényeknél akár 2-3-, a kevésbé igényeseknél 1,5-2-szeres pótlásra lehet szükség. Célunk nemcsak a termésveszteség elkerülése, hanem a talaj ellátottsági szintjének gyors növelése. A teljes N pótlás indokolt. A talaj N-készletével a tervezett N-igény csökken.

Összefoglalva: A trágyázásnak kettős célja van. Egyrészt elkerülni a termésveszteséget az alultrágyázásból vagy túltrágyázásból eredően. Másrészt a talaj ellátottságának fenntartása a „kielégítő” szinten, ahol a trágyázás a leghatékonyabb gazdasági szempontból, ugyanakkor nem terheli feleslegesen a környezetet. Az alábbiakban megkíséreljük számszerűen is érzékeltetni a PK-trágyázás filozófiáját egy hosszabb időszakot, pl. vetésforgót feltételezve. Tehát a tervezett termés P és K igényét hogyan célszerű módosítani a talaj PK-ellátottsága, illetve a növényfaj trágyaigényessége figyelembe vételével.

Talaj PK ellátottsága	Trágyaigényes növényfaj	Nem trágyaigényes Növényfaj	Forgó Egésze
Gyenge	2,5	1,5	2,0
Közepes	2,0	1,0	1,5
Kielégítő	1,5	0,5	1,0
Túlzott	-	-	-

Amennyiben a talajokon rendelkezésre állnak a vetés előtti ásványi N készletre vonatkozó TVG adatok, úgy a 0-60 cm réteg NO₃-N készlet mennyiségével a N műtrágyaigény csökkenthető. Azaz ha pl. a talajban legalább 120 kg ha⁻¹ NO₃-N található a felső rétegekben a napraforgó vetés előtt, műtrágya-egyenértékűnek tekintjük és a 3 t/ha kaszattermés előállításához nem használunk N trágyát a humuszosabb, kötöttebb tábláinkon. A N-túlادagolásra érzékenyebb növényeknél mint a cukorrépa, dohány és részben a napraforgó, csak akkor trágyázunk nitrogénnel, ha a hiány fellépését a tenyészidő során igazolni lehet újlagos TVG vagy NVG adatokkal, vagy a helyszínen egyértelműen diagnosztizálható a N alultápláltság.

A jó ellátottságú talajon trágyahatás nem várható. Célunk az ellátottsági szint fokozatos csökkentése az ellátottsági kategória alsó határáig. A túltrágyázásra érzékeny növényeknél ugyanis a trágyázás termésesökkenést eredményezhet. Így pl. a P-ral jól ellátott meszes talajokon kukoricánál Zn-hiány léphet fel a P-trágyázás nyomán, a P-Zn antagonizmus eredményeképpen stb. A nem trágyaigényes növényeknél, pl. a napraforgónál kötöttebb talajokon a PK trágyázás szüneteltethető. A trágyaigényes kultúráknál 1/2, az erősen trágyaigényeseknél teljes visszapótlás indokolt a tervezett termés fajlagos PK igénye alapján. A N szükséglet mintegy 1/3-

ával méréselkelhető a humuszosabb talajon. Ha a 0-60 cm réteg $\text{NO}_3\text{-N}$ készletének adataival rendelkezünk vetés előtt, a tervezett termés N igényéből a talajbani $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségét levonjuk és a különbséget (hiányt) fedezzük N-műtrágyázással vagy más N-forrással.

Meghatározó jelentőséggel bír nemcsak a növények összetétele, tápelem-felvétele egységnyi terméssel, hanem a speciális trágyaigénye. Hogyan képes a talaj tápelemeit feltárni, hasznosítani? Agresszív, mély gyökérzetet fejlesztő növények, mint pl. a rozs, napraforgó viszonylag kevés trágyát, míg a sekélyen gyökerező és rövidebb tenyészidejű kultúrák, mint a zöldségfélék, burgonya, mák bőséges trágyázást, illetve a talaj mobilis tápanyagkészletét igénylik.

A hazai műtrágyázási kísérletek tanulságai szerint pl. a vályog és kötöttebb talajokon a napraforgó gyakorlatilag nem igényelte a kálium-trágyázást. Az 50 kg ha^{-1} N, illetve az $50 \text{ kg P}_2\text{O}_5$ adag felett pedig a kaszattermés már nem nőtt, viszont csökkent a kaszatok olajtartalma és az olajhozam. Ezzel szemben a tápanyagszegény savanyú nyírségi homoktalajon meghálálta a nagyobb mérvű műtrágyázást és meszesést. A 22 éve trágyázatlan kontroll talaj mind az öt fontos tápelemben (N, P, K, Ca, Mg) elszegényedett, így azt együttes adagolásukkal a kontrollhoz viszonyított termés és olajhozam a kedvező csapadék-eloszlású 1984. évben 3,5-szeresére emelkedett. Ilyen körülmények között a napraforgó is trágyaigényes növényé válik. Az egyoldalú N, NK vagy NP műtrágyázás azonban termésmenökedést nem eredményezett. Fontos tehát a kiegyensúlyozott tápanyagellátás.

Amennyiben eddig nem vezetett táblatorzskönyvet és saját talajvizsgálati adatai sincsenek, jegyezze le az elmúlt évek terméseit és a trágyázási gyakorlatát. Lehetőség szerint gyűjtse össze a hasonló adottságú és előéletű környékbeli területekre vonatkozó információkat. Szaktanácsadóink felkeresik és segítenek majd az adatok kiértékelésében, a műtrágyaszükséglet meghatározásában.

1.5. Műtrágyázás és környezetvédelem

Műtrágyák hatása a talajra, a növényre és a környezet egészére lehet előnyös és hátrányos is. Amennyiben ténylegesen a talaj hiányosságait pótolják és a talajhibákat orvosolják (tápelem arányok és aránytalanságok megszüntetése, túlzott savanyúság vagy lúgosság tompítása stb.), úgy alkalmazásuk egészségesebb talajt, talajéletet, növényzetet, állati és emberi közösségeket hozhat létre korábbi pusztaságokon. Mindezt a hazai és nemzetközi gyakorlat igazolja. A szakszerű műtrágyázás talajminőséget javító, agronómiai és ökológiai talajfunkciókat fenntartó szerepének fontosságára már az 1800-as években rámutattak olyan világhírű tudósok, mint a német *Liebig*, az orosz *Mengyelejev*, vagy itthon *Cserháti Sándor*.

A műtrágyák érdemi környezetszennyező hatásáról a rendszeres és nagyobb mérvű használatuk óta beszélhetünk, amióta elérhetőségük, viszonylagos (korábbi) olcsóságuk és egyoldalú alkalmazásuk új körülményeket teremtett. A közvélemény aggodalma megnőtt a „kemikáliákkal” szemben, gyakran összemossa a műtrágyákat a növényvédő szerekkel. Vajon mennyiben természetidegen anyagok? Honnan származnak? Hogyan károsíthatják a környezetet?

A növények fejlődésükhöz döntően vizet és tápelemeket igényelnek a talajból. Az elemeket alapvetően oldott állapotban, ionos formában veszik fel. A természetesnek

tekintett istállótrágya, vagy komposzt is fokozatosan elbomlik a talajban, hogy növényi eledelül szolgáljon. E tekintetben a műtrágya nem természetidegen anyag. Ugyanazon fontos tápionokat tartalmazza, melyeket a talaj, illetve a szerves trágyák is szolgáltatnak. Műtrágyákkal megnöveljük a talaj tápion-készletét abból a célból, hogy nagyobb termésekhez jussunk. Más oldalról viszont „talajidegen” anyagoknak minősíthetők: összetételük és tulajdonságaik eltérnek a talajétól. Általában vízben vagy gyenge savakban oldódó sók, amelyek néhány elemet viszonylag nagy koncentrációban tartalmaznak. Emellett vivőanyagként vagy szennyezésként magukban hordozhatnak nem szükséges vagy káros összetevőket is.

Az illető célzott növényi tápelem gyakran a műtrágya felét sem teszi ki. Így pl. a 40%-os kálisó a káliumoxidon kívül még 45% klór és 5% nátrium iont is tartalmazhat. A szuperfoszfátokban valójában több lehet a kalcium és a kén, mint a foszfor. Igaz, hogy ezek mind szükséges növényi tápelemek. A répapfélék pedig meghálálják a kálisóval bevitt klorid és nátrium ellátást. Nemkívánatos összetevőknek minősülnek viszont, amennyiben a talaj ezen elemekkel kielégítően ellátott és a természetett növény sem igényli. Hasonló a helyzet a műtrágyákban található mikroelemekkel vagy nemkívánatos mikroelem-szennyezőkkel.

Legtisztábbak e tekintetben a N-műtrágyák, hiszen a gyártásuk alapanyagául a légköri N szolgál. Leginkább szennyezettek a P-műtrágyák lehetnek a bányászott nyersfoszfátok és a gyártástechnológia függvényeként. A K-műtrágyák közbülső helyet foglalnak el. Hazai viszonylatban nem beszélhetünk érdemi talajszennyezésről, nehézfém-dúsulásról a műtrágyázás kapcsán. Talajaink (Ny-Európától eltérően) nem szennyeződtek a legveszélyesebb elemmel, a kadmiummal, mert az orosz lelőhelyekről beszerzett nyersfoszfátok kadmiumban rendkívül szegények. Más sugárzó izotópokban ugyan gazdagabbak (urán, stroncium), de ez a sugárterhelés jelentéktelennek minősül, a háttérterhelés töredékét teheti ki.

A műtrágyák, mint oldható sók nagyságrendileg növelhetik a só-terhelést, az elektrolitok mennyiségét a talajban. A talajok anion-megkötő képessége csekély, így a növény által fel nem vett felesleges nitrát, klorid, szulfát (szakszerűtlen alkalmazás esetén) kimosódhat a mélyebb rétegekbe. Ilyenkor nagymennyiségű fém-kationt is magával ragad a folyamat, a talaj főként kalciumban és magnéziumban elszegényedhet, gyorsan elsavanyodhat, a talajvizek elszennyeződhetnek. A foszfor jól megkötődik a talajban, döntően talajbemosódás (erózió) vagy a szél által szállított porral (defláció) jut a tavainkba, élővizeinkbe. Az élővizek azért tiszták, mert P-ban szegények. Gyakran ez a limitáló tápelem. Az algásodás (eutrofizáció) fő okozója a P-terhelés.

Összefoglalóan megállapítható, hogy a műtrágyák nemkívánatos mellékhatása akkor jelentkezik, amikor azokat természetellenes formában, mennyiségben és arányban juttatjuk a talajba. A tudományos alapokra helyezett szaktanácsadás útmutatását követve elkerülhetők az alkalmazás negatívumai. Az esetleges savanyító hatás meszezéssel vagy lúgosan ható formák megválasztásával, a kilúgzás és a veszteségek a növények igényeihez és a talajtulajdonságokhoz való igazítással (talaj- és növényvizsgálatok, szabadföldi kísérletek, tápelem-mérlegek és a táblatorzskönyvek vezetése által), az élővizekre oly nagy veszélyt jelentő eutrofizáció pedig a víz és szél által okozott erózió (talajpusztulás) meggátlásával.

A mezőgazdaságban képződő növényi és állati hulladékok, települési komposztok mint szerves trágyák a talajba jutva elbomlanak és helyreállítják annak funkcióit, termékenységét. Szokásos adagban alkalmazva nem jelentenek érdemi környezeti veszélyt, a természetes agyagforgalmat valósítják meg. Koncentrált állattartásnál képződő nagymennyiségű trágya elhelyezési problémákat vet fel. A talaj lebontó, illetve a növények tápanyag felvevő képességét meghaladó terhelésnél környezeti károsodással (levegő, talaj, víz, élő szervezetek) kell számolnunk. Különösen az alom nélküli nagyüzemi állattartásnál, ahol óriási tömegű hígtrágya keletkezik.

Az istállótrágya, éretlen komposztok és a hígtrágya bomló szerves anyaga bakteriológiai, közegészségügyi szempontból járványmentes időszakban sem veszélytelen. A hígtrágyákkal való túl gyakori öntözés eltömítheti a talaj pórusait, tönkretelheti szerkezetét és a talajt elmocsarasítja. A közeli talajvíz gyorsan szennyeződhet bomló szerves anyaggal, nitráttal, és a só-terhelés is nőhet. A szerves trágyákba, komposztokba kerülhetnek szennyező nehézfémek (takarmányadalekok), istálló fertőtlenítésére használt anyagok stb. Összességében a különböző eredetű szerves trágyák, komposztok és a trágyalé nagyobb és ellenőrizhetetlen szennyező gócot jelentenek, mint a jobban kézben tartható, ellenőrizhető és irányítható műtrágyázás.

2. Részletes tanácsadás

2.1. Kalászosok

A már klasszikusnak tekinthető szakirodalom szerint a kalászosok közül a búza leginkább igényes a vízzel és a tápanyagokkal szemben. Homokon a rozs, északi övezetekben főként a zab és a rozs, száraz vidékeken a köles díszlik. A búzatermesztésre legmegfelelőbb talaj a csernozjom, melynek szervesanyaga, illetve kiváló víz-és tápanyag gazdálkodása stabil és nagy terméseket tesz lehetővé. A korai N-adag (őszi, tavaszi) a vegetatív fejlődést segíti, míg a késői fejtrágyák a szem minőségét javíthatják. A késői fejtrágyák hatása bizonytalan azonban nálunk a gyakori későtavaszi szárazság miatt. A kalászosok P-igényesek. A jó P-szolgáltatás biztosítéka a talaj P-ral való feltöltöttsége, kielégítő ellátottsága.

Átlagos, kötöttebb talajon a kalászosok nem különösebben reagálnak a K-trágyázásra. A búza viszont jórészt kiszorította a rozst a laza, homokos talajokról. A K-igény főként e talajokon kifejezett. A Duna-Tisza közti karbonátos homoktalajok általában mindhárom fő tápelemben szegények (N, P, K). A rozs termését itt trágyázással 2-3 t/ha-ra tudtuk növelni. Lássuk a búza hogyan reagált a műtrágyázásra egyik tartamkísérletünkben. A 4. táblázatban bemutatott eredmények szerint a trágyázatlan kontroll talajon mért 1,3 t/ha szemtermést az NP együttes trágyázás 2,0-2,5-szeresére, a szalma hozamát 2,5-3,5-szeresére növelte. A K-trágyázás további 0,6 t/ha szem, illetve 1,0-1,2 t/ha szalma többletet eredményezett. Az őszi búza igényelte az AL-oldható P₂O₅-tartalom 150-200 mg/kg, valamint az AL-K₂O tartalom 100-150 mg/kg jelenlétét a szántott rétegben. A nitrogénnel, foszforral és káliummal egyaránt kielégítően ellátott kezeléseknél a kontrollhoz viszonyított szemtermés több mint 3-szorosára, a szalmatermés közel 5-szörösére emelkedett (Kádár 2008).

A savanyú homoktalajaink általában mind az öt makro-tápelemben szegények: N, P, K, Ca, Mg. Hazánk egyik legrégebbi műtrágyázási tartamkísérlete a Nyírségben található. A több évtizedes tapasztalatainkat összefoglalva megállapítottuk, hogy a trágyahatások időfüggők, idővel változnak. A talaj kimerülhet, elszegényedhet bizonyos elemekben. Kísérletünk első 10 évében (1963-1972) érdemi trágyahatásokat, terméstöbbleteket csak a N-trágyázás okozott. A második évtizedben (1973-1982) a N-hatások fokozatosan lecsökkentek a trágyázatlan kontroll szintjére. A N-trágya önmagában nem hatott, mert minimumba került a P és fokozatosan a K tápelem.

4.táblázat: Műtrágyázás hatása a talaj szántott rétegének AL-oldható PK tartalmára és az őszi búza termésére a kísérlet 24. évében (*In: Kádár 2008*) (Duna-Tisza közti karbonátos homoktalaj, Órbottyán)

Műtrágyázás kg/ha/év			AL-oldható, mg/kg		Légszáras termés 1991, t/ha			
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Szem	Szalma	Pelyva	Összes
0	0	0	54	76	1,3	1,2	0,3	2,8
80	60	0	46	117	2,6	3,1	0,8	6,5
80	60	100	61	118	2,7	3,2	0,6	6,5
80	60	200	81	124	2,8	3,6	0,8	7,1
80	60	300	99	109	3,2	4,0	0,8	8,0
160	120	0	45	177	3,6	4,5	1,0	9,1
160	120	100	58	205	4,2	5,3	1,0	10,6
160	120	200	86	2058	4,0	5,2	1,0	10,2
160	120	300	111	179	4,3	5,7	1,1	11,1
160	120	400	133	183	4,2	5,8	1,2	11,2
SzD _{5%}			14	52	0,4	1,0	0,2	1,3

Trágyahatás, terméstöbblet csak az együttes NP-trágyázásnál jelentkezett a kalászosoknál, míg a kapásnövényeknél főként az NK műtrágyák hatottak. A 3. évtizedben (1983-1992) a napraforgó és az igényes dohány már meghálálta a kiegészítő Ca és Mg elemek pótlását is, tehát az együttes NPKCaMg trágyázás volt igazán eredményes. A negyedik évtizedben (1993-2002) és ezt követően a kevésbé igényes tritikále termésmaximumai szintűgy az NPKCaMg kezeléshez kötődnek. Az egyoldalú N-trágyázással viszont a talaj elsavanyodott, tápelemben elszegényedett, termékenységét elvesztette, a növényállomány részben kipusztult vagy ki sem kelt.

A talaj termékenysége megőrizhető, amennyiben biztosítjuk a 120-150 mg/kg AL-P₂O₅ és AL-K₂O tartalmat a feltalajban, illetve 0,5-1,0 t/ha/év körüli meszezőanyagot (dolomitport) alkalmazva fenntartjuk az 5,5-6,0 pH(KCl) értéket és megfelelő 100 kg/ha/év N-trágyázásról is gondoskodunk. Amint az 5. táblázatban látható, a kedvező 2004. évben a savanyú nyírségi homoktalajon a szem és szalma

termése 6 t/ha fölé emelkedett. Ugyanakkor 2005-ben csak a vegetatív szalma tömege többszöröződött meg a trágyázatlanhoz képest, a magtermés elenyésző maradt. A túl száraz és a túl nedves évek egyaránt kis terméseket eredményeztek. Öntözést, növényvédelmet nem végzünk a kísérletben, így az évhatások, termésingadozások nagyok. A szemtermés és a szalmatermés esetenként 1-2 t/ha mennyiséget alig érhet el, ilyenkor a trágyázás hatástalan maradhat, mivel más tényező korlátozza a termésképződést (Kádár *et al.* 2007).

5.táblázat: Mútrágyázás és a meszezés hatása a talaj szántott rétegeire és a tritikálé termésére a kísérlet 42-43. éveiben (In: Kádár *et al.* 2007)
(Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos, Nyírség)

Kezelés jele	pH (KCl)	AL-oldható, mg/kg		Tritikálé termése, t/ha			
		P ₂ O ₅	K ₂ O	Szem ¹	Szalma ¹	Szám ²	Szalma ²
Kontroll	4,3	92	67	1,8	1,8	0,3	2,3
N	3,8	93	43	2,6	3,0	0,3	2,3
NP	3,9	160	43	4,5	5,1	0,4	3,6
NK	3,7	94	73	2,6	3,2	0,3	2,7
NPK	3,8	163	67	4,2	4,5	0,5	4,8
NPKCa	6,4	225	62	5,6	5,8	0,9	9,1
NPKMg	6,2	198	69	5,7	6,1	0,8	7,0
NPKCaMg	6,2	220	65	6,7	6,7	0,9	8,1
SzD _{5%}	0,5	41	12	1,5	1,4	0,2	1,8

Megjegyzés: N 100, P₂O₅ 120, K₂O 120, CaCO₃ 500, MgCO₃ 140 kg ha⁻¹ évente átlagosan.

¹ Szem és szalma 2004-ben, ² szem és szalma 2005-ben

1968 őszén az ország több termőhelyén beállított Országos Mútrágyázási Tartamkísérlet (OMTK) mezőföldi tagjának eredményeiről tudósít a 6. táblázat. A búza évenként került a forgóba borsó után, mely N-ben gazdagabb talajt hagy maga után és a talaj vízkészletét sem meríti ki a kukorica előveteményhez hasonlóan. A kísérlet 1980-2004. évének adatai alapján megállapítottuk, hogy ezen a 3% humuszt tartalmazó talajon a borsó utáni búza termése 50-100 k/ha/év N-adagok felett nem nőtt, sőt tendenciájában csökkent. Termésmaximumok az 50-100 kg·ha⁻¹ N-adaghoz és P₁ szintű, a 150-200 mg/kg AL-oldható P₂O₅, K₂O tartalomhoz kötődtek a szántott rétegben (Kádár és Márton 2005).

Trágyázás nélkül a szántott réteg elszegényedett oldható PK elemekben a 37 év alatt. Az eredeti 180 mg/kg AL-K₂O 115 mg/kg-ra, a 60-80 mg/kg AL-P₂O₅ 50 mg/kg értékre süllyedt. Megközelítően a növényi felvételt tükröző 50-60 kg/ha/év P₂O₅, illetve 100-150 kg/ha/év K₂O adagokkal azonban a talaj szántott rétegének eredeti oldható PK-készlete fenntartható volt. A növény által kivont P mennyiségét 2-3-szorosan meghaladó P-trágyázás nyomán ugyanakkor a feltalaj AL-oldható P-

tartalma nemkívánatosan egy nagyságrenddel emelkedett. Kísérleteinkben a melléktermés is rendre elkerül a tábláról, illetve parcellákról.

6.táblázat: Műtrágyázás hatása a búza szemtermésére az 1980-2004. években az OMTK kísérletben (In: Kádár és Márton 2005) (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kezelés kódja	Légszáraz szemtermés aratáskor, t/ha						
	1980	1984	1988	1992	1996	2000	2004
Kontroll	2,9	2,6	3,8	3,2	1,2	2,8	2,5
N ₁	2,7	3,3	4,7	4,2	1,9	3,2	4,0
N ₂	2,8	2,8	4,0	3,9	2,0	2,7	3,3
N ₃	2,8	2,7	3,9	3,6	2,0	2,3	3,6
N ₁ P ₁	5,0	4,9	7,2	7,0	3,0	5,6	6,0
N ₁ P ₁ K ₁	5,4	5,6	7,6	6,8	3,1	5,2	6,3
N ₃ P ₂	6,8	6,1	6,3	6,9	3,8	5,0	5,8
N ₃ P ₂ K ₁	7,6	6,5	6,9	7,0	3,7	5,7	6,2
SzD _{5%}	0,4	0,4	0,5	0,8	0,4	0,4	0,6

Megjegyzés: N₁= 50-100, N₂= 100-150, N₃=150-200 kg/ha/év N; P₁= 60 kg/ha/év P₂O₅; K₁= 100 kg/ha/év K₂O adag. Forgó: búza-kukorica-borsó

2.2.Kukorica

A talajművelés, növényszám, öntözés, trágyázás és e tényezők kölcsönhatásait átfogóan és kísérletesen Nagy (1996) elemezte, így ezek taglalásától eltekintünk. Tanulmányozásukhoz Nagy és munkatársai dolgozatait, illetve a Nagy János (2007) monográfiáját ajánljuk. A továbbiakban csak a növény tápelemigényével összefüggő eredményeinkre utalunk röviden.

Közismert, hogy míg a kalászosok főként N és P iránt igényesek, a kukorica N és K trágyázásra reagál jobban. Különösen a N-nel és K-mal gyengén/közepesen ellátott termőhelyeken. A P-trágyázás általában csak a kimondottan P-szegény talajon hatékony, míg a P-túlادagolás idővel Zn-hiányt eredményezhet a karbonátos talajokon. Az indukált Zn-hiány levélanalízissel biztonságosan diagnosztizálható és Zn sók alkalmazásával megszüntethető. A Duna-Tisza közti karbonátos homoktalajon beállított NPK műtrágyázási tartamkísérlet 25. évében, 1995-ben a kukoricát teszteltük. Eredményeinket a 7. táblázat foglalja össze. Főbb tanulságok:

A tartós PK-műtrágyázás nyomán az AL-P₂O₅ és AL-K₂O tartalom a kielégítő 150-200 mg/kg tartományba jutott, melyhez a nagyobb termések kötődtek. Az együttes NP-trágyázás érdemben nem volt képes javítani a terméskilátásokat a K-szegény talajon. Alapvetően a kiegészítő K-trágyázással sikerült a kukorica

szemtermését 3,7-ről 5,8 t/ha-ra, a szártermését 2,4-ről 5,0 t/ha-ra emelni ezen a kukorica termesztésére nem igazán kedvező termőhelyen (*Kádár és Radics 2008*).

7.táblázat: Műtrágyázás hatása a szántott réteg AL-oldható PK tartalmára és a kukorica termésére 1995-ben (*In: Kádár és Radics 2008*) (Duna-Tisza közti karbonátos homoktalaj, Órbottyán)

Trágyázás kg/ha/év			AL-oldható, mg/kg		Légszáraz termés t/ha, 1995		
N	P ₂ O ₅	K ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Szem	Szár	Összesen*
0	0	0	52	83	3,0	2,0	5,4
80	60	0	48	122	3,7	2,4	6,7
80	60	100	73	132	4,3	2,9	7,9
80	60	200	122	130	4,4	2,8	7,9
80	60	300	152	120	4,7	2,9	8,4
160	120	0	48	193	3,4	2,4	6,3
160	120	100	79	200	4,2	2,8	7,5
160	120	200	120	212	5,2	3,4	9,3
160	120	300	154	200	5,4	4,0	10,3
160	120	400	186	204	5,8	5,0	11,6
SzD5%			32	56	1,2	1,1	2,4

*Csutkával együtt

A már korábban említett OMTK kísérletben a kukorica utáni kukorica szemtermése a 8. táblázatban közöltek szerint alakult az 1978-2005. években. Látható, hogy az önmagában adott 100 kg/ha/év N-adag termésmenővelő. E feletti N-adag már termésvesztéssel jár. Az extrémén aszályos 1990-ben a legnagyobb szemtermést (2,5 t/ha) a 23 éve nem trágyázott talajon kaptuk. Trágyázással 1 t/ha termésvesztés lépett fel, mert az itt képződött nagyobb vegetatív hajtás/szár tömege a talaj vízkészletét kimerítette virágzás idejére. A július 15 – augusztus 15. közötti kritikus időszak csapadéka 15-20%-át tette ki a kedvező évjáratokénak.

Az évekkel nőttek a P és K trágyák hatásai, ahogyan a talaj eredeti oldható PK-készlete csökkent, kimerült. Megállapítottuk, hogy a mérsékelt 60 kg/ha/év P-adagok hatékonyak. Az elégtelen és a túlzott P-trágyázás egyaránt termésvesztéshez vezet. Utóbbi a kiváltott Zn-hiány miatt a Zn-hiányra érzékeny kukoricában. Közelítően a vetésforgó növényi felvételének megfelelő 60 kg/ha/év P₂O₅, illetve 100-150 kg/ha/év K₂O adagokkal a feltalaj kielégítő 150-200 mg/kg oldható PK-készlete fenntartható, a talaj termékenysége megőrizhető volt (*Kádár és Márton 2007*).

8.táblázat: Mútrágyázás hatása a kukorica utáni kukorica szemtermésére az 1978-2005. években az OMTK kísérletben (In: Kádár és Márton 2007) (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kezelés kódja	Légszáraz szemtermés t/ha (kukorica utáni kukorica)							
	1978	1982	1986	1990	1994	1998	2002	2005*
Kontroll	3,3	4,0	5,9	2,5	3,4	4,5	3,8	6,9
N ₁	6,0	5,8	7,2	2,0	5,1	8,1	7,0	10,2
N ₂	5,7	5,8	7,3	1,7	5,2	7,5	6,2	9,3
N ₃	5,4	5,6	6,6	1,7	5,1	7,5	5,9	9,0
N ₁ P ₁	5,9	6,7	8,1	1,6	5,9	9,2	6,8	11,0
N ₁ P ₁ K ₁	6,6	6,6	8,5	1,6	6,3	9,5	8,4	13,4
N ₃ P ₂	6,7	7,8	8,2	1,4	5,5	8,3	7,9	10,1
N ₃ P ₂ K ₁	8,1	9,4	8,8	1,5	6,2	9,5	9,3	12,3
SzD _{5%}	0,5	0,6	0,4	0,4	0,6	0,8	0,9	1,4

*Búza utáni kukorica. N₁=100, N₂=200, N₃=300 kg/ha/év N; P₁= 60, P₂=120 kg/ha/év P₂O₅; K₁=200 kg/ha/év K₂O adag

2.3. Repce

A repce trágyaigényes kultúra. Érzékeny az aszályra, tápelem-hiányra és a rovarkártevőkre egyaránt. Hagyományosan a trágyázott fekete ugarba került a jövedelmezőbb termelés érdekében, mert *Cserhádi (1901)* szerint „a sovány földben repcét termelni kárba vezett fáradság.” Sokoldalúan hasznosítható. Szerepelhet a zöld takarmánykeverékekben, legeltethető, zöldtrágyanövény, korógyökere a talaj szerkezetét javíthatja, olaja keresett és drága, pogácsája fehérjében és lizinben gazdag, kiváló előveteménye a búzának, gépesítése a kalászosok gépeivel megoldott.

A repce ősszel 5-8 leveles hajtást képez, mely földhöz lapult rozettát alkot. Tavasszal részbeni levélváltást követően indul meg a főhajtás, mely elágazik. Az elágazással (2-10 db) arányos a virágok száma, mert idővel az alsóbbrendű elágazások is virágoznak. A ritka vetésnél több elágazás képződik. A virágok 5-20%-a termékenyül meg és ebből 40-60% képez becőt, melyek száma növényenként akár a 200-at is elérheti. A mellékajtásokon 19-24 db magszámmal kevesebb becő, a becőkben pedig kevesebb mag képződik, mint a főhajtáson. Az 1000-mag tömege 3-6 g, a gyökér tömege 30-40 %-a a szárnak.

A tápanyagellátás befolyásolja a termésszerkezetet. Változhat a tőszám, a növényenkénti elágazások és becők száma, a becőnkénti magszám, 1000-magtömeg, olaj %-a. Már ősszel részben eldől a termés sorsa. Az oldalelágazások száma kb. az őszi levélszámmal azonos. Régi megfigyelés szerint “ahány levéllel megy a repce a télbe, annyi q terméstöbblettel fizet.” A gyengén fejlett őszi állomány már nem hozhatja be fejlődésbeni hátrányát tavasszal. A terméselemek között fennáll a

kiegyenlítődésre való törekvés: negatív kapcsolat van a tőszám és elágazások száma, a becőszám és a becőbeni magszám, magszám és 1000-magtómeg, valamint a mag olaj és fehérje tartalma között.

A termész szerkezetet befolyásolja az időjárás is, mely a trágyahatások irányát és mértékét behatárolhatja. A repce ÉNy-Európa fő olajnövénye, ahol az óceáni hatások uralkodnak. A hosszúnappalos növény hűvös, párás nyarú vidékeken díszlik igazán, mert érés idején is vízigényes. Egyaránt igényli a talaj és a levegő nedvességtartalmát. Itt az újabb fajtákkal és agrotechnikával a 3-4 t/ha magtermés elérhető és a legnagyobb olajhozamot biztosítja hektáronként. A szalma + becő tömege a mag 2-3-szorosa.

A kontinentális, forró és száraz nyarú tájakon a tenyészidő generatív szakasza lerövidül, az érés gyorsul és a magtermés lecsökken. Aszály esetén kényszerérés következik be, a vegetatív részek (gyökér, szár, lomb) mobilizálható tápelemkészlete nem juthat a magba. Ilyenkor csökken a megtermékenyülés is, tehát nemcsak kisebb, hanem kevesebb mag képződik. Itthon más fajtákra van szükség, más agrotechnikát, trágyázást kell folytatnunk. A Ny-európai tapasztalatok nem vehetők át minden további nélkül. Hazai viszonyaink között pl. a mag és a melléktermék aránya tággyá válik, alföldi jellegű vidékeken a szalma+becő tömege a maghozam 4-6-szorosa is lehet. Ebből adódóan eltérő lesz a növény fajlagos tápelemtartalma illetve trágyaigénye stb.

A repce számára az altalaj minősége is fontos, karógyökere mélyre hatol. A gyökér azonban gyenge felépítésű, a növény könnyen kinyűhető, ezért már kezdetben sok felvehető tápelemet igényel. Mindez igaz a P-ellátás tekintetében is. A P-hiány gátolja a korai fejlődést, kitolódik az érés, a magtermés visszaszorul. A szuperfoszfát összetételénél fogva kielégítheti a repce P-, S- és részben Ca-igényét. Ny-Európa művelt talajai P-ral feltöltöttek, az újkori irodalom érdemi P-hatásokról nem tudósít. A jelentős vegetatív tömegbe épült nagymérvű K-felvétel ellenére K-hatások itthon ritkák. A repcét általában kötöttebb mélyrétegű talajokon termesztik, ahol K-igényét kielégítheti. A felvett K döntő része a táblán maradhat az éréskor lehulló lombbal, illetve visszakerül a talajba a leszántott mellékterméssel.

Mezőföldi karbonátos csernozjom talajon a kísérlet 11. évében, 1984-ben Yet Neuf francia erukasav-szegény repcét termesztettünk. Kora tavasszal törőzsás korban az együttes NPK trágyázással a repce boritottsága megkétszereződött és ezzel együtt a gyomborítás közel a felére csökkent. Érés kezdetén, július elején igazolható volt a gyomfajsám mérséklődése, ezzel együtt a pótlólagos K-trágyázás eredményeképpen némileg nőtt az elágazások száma, illetve kifejezettebben a növényenkénti becők száma emelkedett. A 9. táblázat adataiból az is kiolvasható, hogy az önmagában folytatott N-trágyázás nem vezetett eredményre.

Az aratáskori fő-és melléktermés hozamát közel a kétszeresére tudta növelni az intenzívebb együttes NPK adagolás. A virágzástól a teljes érésig tartó száraz idő miatt kényszerérés következett be és kis magtermések képződtek. Ebből adódóan a szár/mag tömgaránya 6-8 közöttire tágult. A növekvő egyoldalú N-trágyázás a mag olajtartalmát mérsékelte. Az együttes NPK kezeléssel az olajhozam a kontrollon mért 336-ról 738 kg/ha-ra emelkedett. Igazolható terméstartományokat a 150-200 mg/kg AL-P₂O₅, illetve AL-K₂O ellátottság felett már nem kaptunk. Igaz,

9. táblázat: Mútrágyázás hatása a repce fejlődésére, termésére, minőségére és olajhozamára 1984-ben (In: Kádár et al. 2001 (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kezelés Kódja	¹ Borítottsági %		Gyomfaj db	² Repcető db/fm	² Elágazás db/növény	² Becő db/növény
	Repce	Gyomok				
Kontroll	36	7,0	7,1	17	3,0	37
N ₁	41	6,4	7,8	15	3,5	40
N ₂	40	6,0	6,8	15	3,9	57
N ₃	40	6,4	7,5	16	3,1	45
N ₁ P ₁	55	5,3	5,5	15	4,8	48
N ₂ P ₂	60	6,2	5,4	14	4,4	51
N ₃ P ₃	57	5,7	5,9	13	4,2	37
N ₁ P ₁ K ₁	80	4,8	4,9	18	5,4	67
N ₂ P ₂ K ₂	82	3,3	4,6	18	5,6	88
N ₃ P ₃ K ₃	80	4,0	4,0	20	6,4	101
SzD _{5%}	14	3,0	2,0	3	1,6	22

Kezelés Kódja	³ Szár t/ha	³ Mag t/ha	³ Gyökér t/ha	Összesen t/ha	Olaj %	Olajhozam kg/ha
Kontroll	5,5	0,7	0,7	7,0	42,0	336
N ₁	6,9	1,0	0,9	8,8	41,2	412
N ₂	6,3	1,0	0,9	8,2	39,7	397
N ₃	6,1	1,1	0,9	8,1	39,6	436
N ₁ P ₁	7,5	1,4	1,2	10,1	41,0	574
N ₂ P ₂	8,8	1,7	1,3	11,8	41,0	697
N ₃ P ₃	9,7	1,7	1,2	12,6	41,0	697
N ₁ P ₁ K ₁	7,8	1,5	1,3	10,6	41,0	615
N ₂ P ₂ K ₂	9,2	1,7	1,3	12,2	41,2	700
N ₃ P ₃ K ₃	10,5	1,8	1,3	13,6	41,0	738
SzD _{5%}	2,2	0,4	0,3	2,6	0,5	131

¹Március 27-én törőzsás korban, ²július 3-án érés kezdetén, ³július 23-án teljes érésben.
N₁=100, N₂=200, N₃=300 kg/ha/év N; P₁=közepes, P₂=kielégítő, P₃=túlzott ellátottság;
K₁=közepes, K₂=kielégítő, K₃=túlzott K-ellátottság

hogy a túlzottnak minősített együttes NPK-trágyázás sem okozott terméseszkökenést vagy minőségromlást, sőt némi termés és olajhozam többlettel járt (Kádár et al. 2001).

Az aratáskori földfeletti repce (mag+szár) a túlzott NPK trágyázásban részesült talajon kapott maximális termésével tekintélyes mennyiségű tápelemet vont ki a talajból: 238 kg N, 230 kg K₂O, 210 kg CaO, 98 kg P₂O₅, 65 kg MgO, 39 kg Na, 1 kg Fe, 600 g Mn, 170 g Zn és 29 g Cu hektáronként. Megemlítjük, hogy a N 36%-a, P 61%-a, Mg 70%-a, Na és Ca 90%-a, illetve a K 92%-a a melléktermés szárban akkumulálódott és így el sem került a tábláról kombájn betakarítást követően. Az 1,8 t/ha magterméssel „csak” 93 kg N, 27 kg P₂O₅, 20 kg CaO, 17 kg K₂O, 15 kg MgO és 4 kg Na hektáronkénti mennyiséggel szegényedett a talaj. Kielégítően ellátott termőhelyen tehát elégséges a N és P magterméssel elvont mennyiségeit pótolni. Az egyéb elemek pótlása rövidtávon nem indokolt. Kielégítő N-ellátottságot hasonló talajon a 0-60, illetve 0-90 cm talajréteg 100-150, illetve 150-200 kg ha⁻¹ NO₃-N készlete is biztosíthatja, melyet vetés előtt vagy kora tavasszal állapítunk meg (*Kádár et al. 2001*)

2.4.Napraforgó

Az igénytelennek tartott napraforgót egyáltalán nem trágyázták. Vetésterülete a háború előtt mindössze néhány ezer ha-t tett ki. Az utóbbi évtizedekben hála az egytányérú korán érő fajták, hibridek, valamint a gépesítés elterjedésével legfontosabb olajnövényünké vált. Vetésterülete megközelítette a 0,5 millió ha-t. A növény mélyen gyökerezik, a talaj víz-és tápelemkészletét kiválóan képes hasznosítani. A hazai OMTK műtrágyázási kísérletek tanulságai szerint pl. a vályog és kötöttebb, humuszos talajokon a napraforgó nem igényelte a K-trágyákat. Az 50 kg ha⁻¹ körüli N, illetve az 50 kg ha⁻¹ körüli P₂O₅ adag felett pedig a kaszattermés nem nőtt, viszont csökkent a kaszatok olajtartalma és az olajhozam.

A tápanyagszegény és rossz vízgazdálkodású homoktalajokon viszont ez a növény rendkívül trágyaigényessé és aszályérzékennyé válik. A nyírségi, nyírlugosi tartamkísérletünk 22. évében természetünk napraforgót. A kedvező csapadékeloszlású 1984. évben az együttes NPKCaMg trágyázással a kontrollhoz viszonyított kaszattermés és az olajhozam 3,5-szeresére nőtt. Emlékeztetőül, a termőhely mind az 5 fontos főtápelemben (N, P, K, Ca, Mg) elszegényedett. A 10. táblázat eredményei szerint az évenkénti 120 kg ha⁻¹ N-trágyázás önmagában nem növelte a termésjellemzőket. Sőt az NP vagy NK kezelés sem volt eredményes. Az együttes NPK kezelésben már a kaszat tömege megduplázódik. A Ca hozzáadásával 2,5-szörösére, Mg pótlásával 3-szorosára volt emelhető a kaszattömeg.

Az adatokból az is megfigyelhető, hogy a meszezett és kiegyensúlyozottan táplált termékeny talajon a napraforgó jobban kelt, nőtt a tőszám, a növény magassága, a tányérok átmérője és a tányérfelület, valamint a tányérokban a kaszatsűrűség. A savanyú és tápanyagszegény talajon kevesebb és kisebb tányér képződött, sok volt az üres, léha mag és a Sclerotiniával fertőzött növény. Gazdaságossá tehető a napraforgó termesztése hasonló talajon is, amennyiben biztosítjuk a 150 mg/kg körüli AL-P₂O₅, illetve AL-K₂O oldható PK tartalmat a feltalajban, a 6 körüli pH(KCl) értéket 0,5-1,0 t/ha/év dolomitpor alkalmazásával és a megfelelő 100-150 kg/ha/év N-ellátásról is gondoskodunk (*Kádár és Vass 1988*).

10. táblázat: Műtrágyázás hatása a napraforgó fejlődésére, termésére és olajhozamára 1984-ben In: Kádár és Vass 1988 (Kovárványos erdőtalaj, savanyú homok, Nyírlugos, Nyírség)

Kezelés Jele	Tőszám db/3sor	Nagyság cm	Tányér Ø cm	Kaszat db/cm ²	Kaszat t/ha	Olaj %	Olajhozam kg/ha
Kontroll	68	92	11	2,6	0,75	44,8	336
N	60	60	11	2,7	0,64	41,9	268
NP	69	75	11	2,9	0,95	42,4	402
NK	69	74	11	2,3	0,76	41,2	314
NPK	73	110	13	3,8	1,43	43,8	626
NPKCa	75	141	15	5,3	1,85	44,8	827
NPKMg	80	140	15	5,0	2,27	45,3	1028
NPKCaMg	82	157	16	5,1	2,64	45,6	1206
SzD _{5%}	8	35	2	1,2	0,54	2,2	217

Megjegyzés: N 120, P₂O₅ 120, K₂O 120, CaCO₃ 500, MgCO₃ 140 kg ha⁻¹ évente

Mezőföldön mészlepedékes csernozjom vályogtalajon beállított NPK műtrágyázási kísérletünk 9. évében, 1982-ben természetünk napraforgót. Megállapítottuk, hogy hasonló talajon a 100 kg·ha⁻¹ körüli N-adag, valamint a 120-140 mg/kg AL-P₂O₅ és a 150-200 mg/kg körüli AL-K₂O ellátottság biztosíthatja a jó termés elérését. Kísérletünkben 3,1 t/ha mag; 3,1 t/ha szár és 1,7 t/ha tányér, azaz összesen 7,9 t/ha földfeletti légszár az hozam képződött. A túlzott trágyázás már nem a termést, hanem a betegségekkel szembeni fogékonyságot növelte és a minőséget rontotta.

Az NP-túlkínálát nyomán 4-szeresére nőtt a Macrophonina, kétszeresére az Embellisia okozta fertőzés. Az olajtartalom 50%-ról 45%-ra mérséklődött. Agronómiai szempontból kívánatos a 45-55 ezer db/ha tőszám, egyenletes állomány 18-20 cm tányérmérvél. A túl kis tányérok adó sűrű, valamint a túl nagy tányérok adó ritka állomány egyaránt olajhozam-vesztést okoz. A tányérmérvő és az 1000-kaszattömeg között pozitív, míg az olajtartalommal negatív összefüggés áll fenn (Kádár et al. 2001c).

A 7,9 t/ha földfeletti termésben átlagosan 135 kg N, 55 kg P₂O₅, 202 kg K₂O, 91 kg CaO, 56 kg MgO halmozódott fel. A 3,1 t/ha kaszatban 88 kg N, 45 kg P₂O₅, 35 kg K₂O, 8 kg CaO és 16 kg MgO volt található. Hasonló karbonátos, kötöttebb termőhelyen a K, Ca, Mg elemekben előálló veszteség kombájn betakarításnál, amikor a melléktermés helyben marad és leszántásra kerül, elhanyagolható. A K, Ca, Mg elemekkel való trágyázás szüneteltethető, elhagyható a forgóban. Megemlítjük, hogy a K-mal bőségesen ellátott talajon a szár K-tartalma a kontrollon mért 1%-ról 4,4%-ra ugrott. Itt a felvett összes K₂O mennyisége 360 kg/ha-ra nőtt. Az extrém K-felvételre képes „talajzsaroló” napraforgó azonban „talajkímélő” növényé válik a melléktermés leszántásával (Kádár 2001d).

2.5. Burgonya

A burgonya gyökérzete csak a talaj felső 50-60 cm rétegét hálózza be érdeemben és gyengén fejlett. Valójában nem is ipari gyökérről, hanem módosult földalatti hajtásról van szó. A virágzással kezdődő intenzív gumófejlődés idején a növény oxigén, víz és tápanyagokkal szembeni igénye megnő. A nagy tömegű és térfogatú gumótermés teret, laza talajt kíván. Éréskor a lomb elszárad és összeomlik, vagyis a talajon marad. Mivel a gumót takarítjuk be, a gumótermésbe épült és a tábláról elvitt tápelemek mennyisége lehet irányadó a talaj termékenységét megőrző trágyázás számára.

Az általános vélemény szerint a N-ellátás különösen fontos a lombfejlődés és a gumószám kialakulása számára, tehát a vegetáció első felében. Túlsúlya viszont túlzott vegetatív fejlődést és csökkent betegség-ellenállóságot idézhet elő. Ezen kívül rontja a minőséget, az eltarthatóságot, késlelteti az érést. A P-ellátás növelése általában kisebb terméstartalommal jár, siettetni az érést, javítja a minőséget, ellensúlyozhatja az egyoldalú N-túlsúly káros következményeit. A burgonya közismerten K-igényes növény. A K-ellátás növeli a gumók tömegét, javítja vízgazdálkodását, minőségét és keményítőszerűségét. Egyoldalú túlsúlya viszont a N-túlsúlyhoz hasonlóan negatív következményekkel járhat, különösen a KCl forma alkalmazásakor.

A minőség a felhasználás céljától függő (étkezési, ipari, vetőgumó) komplex fogalom, mely érintheti a gumó méretét, összetételét, ízét, színét, mechanikai sérüléssel és betegségekkel szembeni érzékenységét, eltarthatóságát, konyhatechnikai feldolgozhatóságát. Étkezési burgonyánál a nagyobb gumóméret előnyös, mert kisebb a hámozási veszteség. A túl kevés keményítő „szappanos” jelleget adhat, míg a keményítőben túl gazdag gumó főzéskor szétesik, lisztesebb. Hámozáskor, vágáskor a gumó elszíneződik. Alapvetően két színeződési reakciót különböztetnek meg: az enzimes vagy nyers, valamint a nem enzimes vagy főzési-sütési színeződést.

A N túlsúlya, illetve relatív K-és P-hiánya növeli a redukáló cukrok és az aminosavak mennyiségét. A tirozin aminosav részt vesz a sötét színű növényi festékek képzésében, míg a redukáló cukrok a burgonyaszeletek színeződését befolyásolják. Az enzimes elszíneződés, a szürkefoltosság, a fenolszerű festékanyagok enzimes oxidációja nyomán alakul ki. A főtt és sült burgonyaszeletek barnulását, feketedését elősegíti a redukáló cukrok nagyobb mennyisége. Egyes szerzők szerint a burgonyagumó minőségének – mint a megfelelő keményítőtartalom, íz, eltarthatóság, elszíneződés – védelme érdekében célszerű a gumó szárazanyagában K-trágyázással a K-tartalmat 2% fölé növelni. Az Osztrák Szaktanácsadó Intézet pl. 2,0-2,5% K, illetve 1:1,6=N:K arány optimumokat tart kívánatosnak a gumó szárazanyag összetételében.

A továbbiakban saját kísérletünkben vizsgáljuk a műtrágyázás és a termés, a minőség, valamint az eltarthatóság összefüggéseit. Bemutatjuk a betakarítást követően vett talajminták elemzésének adatait is. A mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon beállított NPK műtrágyázási kísérletünk 5. évében, 1978-ban vizsgáltuk a műtrágyázás hatását a Desiré fajtájú burgonya termésére,

minőségére, keményítőhozamára és elemfelvételére. A 11. táblázat eredményeit tanulmányozva arra a következtetésre juthatunk, hogy az egyoldalú N-adagolás,

11.táblázat: Műtrágyázás hatása a Desiré burgonya termésére, minőségére és keményítő hozamára 1978-ban (In: Kádár 2000, Kádár et al. 2000) (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kezelés jele	Gumó				Keményítő		Biomassza t/ha
	db/tő	g/db	g/tő	t/ha	%	t/ha	
Kontroll	2,4	189	366	13,4	16,0	2,1	16,0
N ₁	2,5	194	380	16,8	16,0	2,7	18,0
N ₂	2,5	190	378	16,2	16,0	2,6	18,0
N ₃	2,7	209	404	20,0	15,0	3,0	24,0
N ₁ P ₁	2,6	194	388	18,9	16,4	3,1	20,0
N ₂ P ₂	2,6	196	400	18,5	16,0	3,0	18,9
N ₃ P ₃	2,7	200	412	20,8	15,2	3,2	23,0
N ₁ P ₁ K ₁	2,8	225	497	24,0	17,4	3,9	27,0
N ₂ P ₂ K ₂	2,8	242	650	27,9	18,2	4,9	34,0
N ₃ P ₃ K ₃	3,1	266	891	32,6	18,4	5,9	41,1
SzD _{5%}	0,4	30	74	2,6	0,8	1,1	4,2

Megjegyzés: N₁=100, N₂=200, N₃=300 kg/ha/év N; P₁=közepes, P₂=kielégítő, P₃=túlzott P-ellátottság; K₁=közepes, K₂=jó közepes, K₃=kielégítő K-ellátottság

sőt az együttes és növekvő NP-trágyázás sem javította érdemben a termést, minőséget vagy a keményítő hozamát. A kiegészítő K-trágyázással viszont igazolhatóan emelkedett a gumók tövenkénti átlagos száma és tömege. A gumótermés 2,5-szeresére, míg a keményítő hozama csaknem a 3-szorosára. A K tehát a termés tömegét és mennyiségét egyaránt előnyösen befolyásolhatja.

A burgonyát nem lehetett túltrágyázni, terméscsökkenést nem jelzett. Sőt, a legnagyobb trágyaadagok nyomán kaptuk a legnagyobb hozamot a legjobb minőséggel. Igaz, hogy a kísérlet első éveiben még a P vagy K elemek túlsúlya nem alakult ki a talajban. Az AL-P₂O₅ maximálisan 264 mg/kg, az AL-K₂O 208 mg/kg koncentrációt ért el a szántott rétegben. A 32,6 t/ha gumótermésbe 187 kg K₂O, 185 kg N, 70 kg P₂O₅, 17 kg MgO és alig 1 kg CaO épült be. A gumó K-tartalma a kontrollon mért 1,16%-ról 1,85%-ra emelkedett a 208 mg/kg AL-K₂O tartalommal rendelkező kezelésben. A német nyelvű irodalomban kívánatosnak tartott 2% K-koncentrációkat el sem értük kísérletünkben. A K-felvétel igen nagy lehet Ny-Európa kolloidszegény, K-mal bőségesen trágyázott homokos talajain, ahol a K kevésbé kötődik meg a talajban (Kádár et al. 2000).

A nyírlugosi savanyú homoktalajon folyó kísérletünk 15. és 17. éveiben, 1977-ben és 1979-ben termesztettünk Desiré fajtájú burgonyát. A kedvezőtlen 1979. évben a trágyázatlan parcellák termése lezuhant, mindössze ¼-e volt az 1977. évben mértnek. Hatékony volt ekkor a N és az NPK adagolás, a meszezési Ca, Mg kiegészítő kezelések azonban további terméstöbbletekkel nem jártak. A nagyobb termésű 1977-ben viszont érvényesült az NP, NK, NPK és az NPKCaMg együttes

trágyázás, így az akkori országos termésátlagokat 2-szeresen meghaladó terméseket tudtunk elérni (12. táblázat).

12.táblázat:Műtrágyázás és meszezés hatása a talajra és a burgonya termésére (Kovárványos barna erdőtalaj, savanyú homok Nyírlugos, Nyírség)

Kezelés Jele	pH (KCl)	AL-oldható, mg/kg		Gumó t/ha Desiré fajta			
		P ₂ O ₅	K ₂ O	1977	1979	Átlag	%
Kontroll	4,6	66	70	14,4	3,6	9,0	100
N	3,9	78	100	15,6	9,0	12,3	137
NP	3,9	140	110	19,4	10,9	15,2	169
NK	3,8	80	130	22,4	10,8	16,6	184
NPK	3,9	142	132	26,9	12,7	19,8	220
NPKCa	4,8	160	150	28,7	13,2	20,9	233
NPKMg	4,6	140	140	28,1	12,6	20,4	227
NPKCaMg	5,9	170	132	29,1	12,2	20,6	229
SzD _{5%}	0,8	35	32	2,6	2,4	4,7	52

Megjegyzés: N 160, K₂O 240, P₂O₅ 80, CaCO₃ 250, MgCO₃/CaCO₃ 500 kg/ha/év átlagosan

A burgonya termésmaximumait azon parcellákban kaptuk, ahol a talaj extrém savanyúságát meszezéssel megszüntettük és a pH(KCl) 5 körüli értékre emelkedett. A talaj továbbra is enyhén savanyú tartományban maradt, mely kedvező a burgonya számára és ugyanakkor kielégítette Ca és Mg elemszükségletét. A Ca döntően a lombfejlődést segítheti és több mint 90-95%-a a levélzetbe épült be. A kielégítő P- és K-ellátottságot a szántott réteg 140-150 mg/kg Al-oldható P₂O₅, illetve K₂O tartalma jelentette. Összességében megállapítható, hogy a nyírségi savanyú homoktalajok megfelelő trágyázással termékenyvé tehetők a burgonyatermesztés számára és a kedvezőtlen évjáratok terméscsökkenő hatása is ezzel érdemben mérsékelhető, ellensúlyozható a 11. táblázatban összefoglalt eredményeink szerint (Szemes és Kádár 1990).

2.6.Gyeppek

A trágyázás hatása a gyepeken más, mint a szántón. Másként hat az egyes összetevőire, mint a füvekre, pillangósokra és a gyomokra. A zöld vegetatív növényi részek érzékenyen reagálnak a víz- és tápelem kínálatra. A műtrágyázás drasztikus beavatkozást jelent a talajba, mely tükröződik a takarmány összetételén. A szakszerűtlen műtrágyahasználat idővel katasztrofális következményekkel járhat a takarmányt fogyasztó állat számára. Felléphet a fűtetánia, sterilitás, csontdeformáció és egyéb rendellenességek. A talaj-növény-állat-ember sorsa összefügg. Az élettani anomáliák végső soron megjelenhetnek az állati eredetű termékeket (tej, hús, tojás, stb.) fogyasztó emberen civilizációs betegségeket előidézve.

A mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon folyó kísérletünk 27. évében, 2001-ben telepítettük 9 komponensű, réti csenkesz vezérnövényű

pillangósnélküli gyeget. Példaképpen bemutatjuk a műtrágyázás hatását 2005. és 2006.évi 1. és 2. kaszálás széna tömegére a 13. táblázatban. Ezek a kísérlet 29. és 30. évei. Az adatok arra utalnak, hogy a N-trágyázás önmagában is megtöbbszörözheti a trágyázatlan kontroll szénahozamait. A kiegészítő P-trágyázás 2006-ban az 1. kaszálás idején +2 t/ha körüli, az NPK kezeléssel újabb +2 t/ha körüli terméstöbblet jelentkezett. A két kaszálás összegeit tekintve, 2006-ban az NPK adagok nyomán a szénahozam 5,5-szörösére volt növelhető. Terméscsökkenés, depresszió nem volt megfigyelhető. (Kádár és Ragályi 2010).

13.táblázat: Műtrágyázás hatása a telepített pillangósnélküli gyepter termésére (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kezelés Jele	2005-ben, széna t/ha			2006-ban, széna t/ha		
	I.kaszálás	II.kaszálás	Összesen	I.kaszálás	II.kaszálás	Összes
Kontroll	1,0	0,6	1,6	1,5	0,6	2,1
N ₁	4,3	1,1	5,4	3,8	1,2	4,0
N ₂	5,0	1,3	6,8	4,2	1,9	6,1
N ₃	6,0	3,5	9,5	4,4	2,2	6,6
N ₁ P ₁	5,0	1,3	6,3	5,4	0,7	6,1
N ₂ P ₂	6,5	2,9	9,4	6,8	1,4	8,2
N ₃ P ₃	6,0	3,5	9,5	6,5	1,0	7,5
N ₁ P ₁ K ₁	4,5	1,2	5,7	6,2	0,8	7,0
N ₂ P ₂ K ₂	6,4	2,5	8,9	7,9	1,5	9,4
N ₃ P ₃ K ₃	5,7	5,0	10,7	8,3	3,1	11,4
SzD _{5%}	1,3	0,9	1,8	1,2	0,6	1,4

Kezelések: N₁=100, N₂=200, N₃=300 kg/ha/év N;
P-ellátottság: P₀=gyenge, P₁=közepes, P₂=kielégítő, P₃=túlzott
K-ellátottság; K₁=közepes, K₂=kielégítő, K₃=túlzott

A kontroll, önmagában adott 100 kg/ha/év N-adag, valamint az emelkedő NPK ellátottság hatását tanulmányozhatjuk a 2002-ben termett gyepszéna termésére és elemfelvételére a 14. táblázatban. A kontroll termését 5,1-szeresére növelte a bőséges N₃P₃K₃ szintű kínálat. A K₂O 362 kg, N 168 kg, CaO és a P₂O₅ 49-50 kg, MgO és a S 22-23 kg maximális felvételt mutatott hektáronként. Hasonló 8-9 t/ha szénahozamokkal a talaj K és N készlete gyorsan kimerülhet. A gyepter esetében nem is beszélhetünk „túlzott” PK ellátottságról, bár a P₃ szintet 542 mg/kg AL-P₂O₅, a K₃ szintet 390 mg/kg AL-K₂O tartalom jelentette a szántott rétegben ezekben az években (Kádár 2006).

A 14. táblázatban az is megfigyelhető, hogy a kontrollon mért Na felvett mennyisége a N-adagolással 23-szorosára ugrott, majd újra kevesebb mint felére esett. A N szinergistaként serkenti a Na beépülését míg a K antagonistaként gátolja. Hasonló jelenséget tapasztalunk a Mo esetében. Már a gyepter kísérletünk első évében megállapítottuk, hogy ...”a tartós NPK műtrágyázás drasztikusan, akár egy nagyságrenddel megváltoztathatja a takarmányszéna elemösszetételét és elemarányait az elemek között létrejött szinergizmusok és ionantagonizmusok

nyomán. Az 1. kaszálásnál pl. a szénában mért elemekben az alábbi minimum-maximum koncentrációk jelentkeztek: N 0,9-3,0; Ca 0,4-0,7; S 0,14-0,32; P 0,12-0,30; Mg 0,10+-0,24 %. Az egyéb elemekben: Na 70-700, Fe 100-288, Al 45-250, Mn 71-130, Zn 7-14, B 4-8, Mo 0,04-0,44 mg/kg.” Növényelemzéssel a takarmányok összetétele ellenőrizhető. A bőséges P-trágyázás Zn-hiányt, az együttes NPK trágyázás Mo-hiányt okozott a gyepszénában kísérletünkben.

14.táblázat: A növekvő NPK ellátottság hatása a gyepszéna termésére és elemfelvételére 2002-ben a két kaszálás összegében (In: Kádár 2006) (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Termés,ill. Elemek	Mérték- egység	NPK ellátottsági szintek					SzD _{5%}
		N ₀	N ₁	N ₁ P ₁ K ₁	N ₂ P ₂ K ₂	N ₃ P ₃ K ₃	
Széna	t/ha	1,7	6,7	7,0	7,3	8,7	2,0
K ₂ O	kg/ha	41	134	180	224	362	88
N	kg/ha	15	57	101	99	168	36
CaO	kg/ha	11	39	38	48	49	11
P ₂ O ₅	kg/ha	9	21	32	39	50	18
MgO	kg/ha	5	22	17	22	23	7
S	kg/ha	5	13	14	19	22	8
Na	kg/ha	0,3	6,9	5,7	3,3	2,6	26
Fe	kg/ha	0,3	0,6	0,7	0,8	0,9	0,4
Mn	kg/ha	0,1	0,7	0,7	0,9	1,0	0,3
Zn	g/ha	20	80	50	54	213	6,0
B	g/ha	11	31	25	34	29	8
Cu	g/ha	5	20	29	35	54	20
Mo	g/ha	1	9	3	2	2	2

Kezelések: N₁=100, N₂=200, N₃=300 kg/ha/év N; P₁=közepes, P₂=kielégítő, P₃=túlzott P-ellátottság; K₁=közepes, K₂=kielégítő, K₃=túlzott K-ellátottság.

2.7. Lucerna

Származása okán a lucerna rendkívül mészigényes, de a Mg, P, S, K, B elemek kielégítő kínálata szintén alapvető. Kílúgzott savanyú talajokon rendezni kell a talaj mészállapotát Ca és szükség szerint Mg trágyák kijuttatásával. A kén pótlásáról általában nem kell gondoskodni amennyiben szuperfoszfátot alkalmazunk, hiszen a szuperfoszfát kiváló S-forrás. Míg a P-ellátás a sikeres telepítés, a megfelelő K-szolgáltatás a megfelelő állományfejlődés feltétele. Kolloidszegény laza talajon a K-trágyázás, erősen kílúgzott termőhelyen a B-trágyázás is hatékony lehet. A B-hiány kevéssé kílúgzott talajon is felléphet extrém szárazság idején, amikor a B nagy része a feláramló vízzel a feltalajba kerül, míg az öregedő lucerna gyökerei már a mélyebb rétegekben vannak (Simkins et al. 1970).

A N-trágyák hatékonysága a talaj állapotától, N-szolgáltatásától függ. Steril talajon szükségessé válik a talaj oltása a nagyobb mérvű N-pótlás műtrágyákkal. A

nem steril talajainkon is előnyös általában a vetés előtti 30-50 kg ha⁻¹ starter vagy indító N-adagolás, mert a gyökérgümők csak néhány hét után alakulnak ki. Telepítés előtt gyengén ellátott talajon célszerű biztosítani a lucerna PK-igényét a tervezett 3-5 évre előre/feltöltő PK-trágyázással. A fenntartható termésszintek ezen túlmenően igénylik az ősszel vagy tavasszal kijuttatott PK fenntartó trágyázást is, amennyiben a lucerna trágyaigényes, nagy mennyiségű tápelemet von ki évente a talajból megfelelő termés esetén (*Antal 1987, Radics 1994, Geisler 1988, Késmárki 2005*).

A Rhizobium fajok nem kötnek N-t, amennyiben a talaj N-ben jól ellátott. Sőt, a lucerna a káros NO₃-N kilúgzását, a vizek szennyeződését hatékonyan képes megakadályozni (*Mathers et al. 1975*) kísérleteiben a lucerna a telepítését követő első évben több mint 300 kg ha⁻¹ N-t vett fel a felső 180 cm rétegből. A második évben ez a kedvező hatás már a 360 cm mélységig kimutatható volt. A lucernának és más mélyen gyökerező növénynek ilyen „tisztító” hatást tulajdonítanak. *Nielsen et al. (1980)* szerint ezek a növények nemcsak a NO₃-N kimosódását csökkentik, hanem egyúttal a mélyebb talajrétegek vízkészletét is mérséklik. Így megváltozhatnak a talajbani vízmozgás feltételei. A potenciál gradiens irányától függően felfelé irányuló vízáramlás léphet fel, mely a nitrátot is a felszín közeli talajrétegekbe hozza. A gyökérszónába került N felvétele lehetővé válhat a következő, sekélyen gyökerező kultúrák számára.

A lucerna szárazságtűrése nem hasonlítható össze pl. a köles szárazságtűrésével. A köles transpirációs együtthatója 250 liter/kg sz.a., míg a lucernáé 844 liter/kg sz.a. *Mengel és Kirkby (1987)* szerint. A lucerna óriási mennyiségű vizet, talajvizet tud elpárologtatni és eközben sófelvétele is tetemes lehet. *Jakuskin (1950)* példaképpen említi, hogy a 6 évig tartó öntözött gyapottermést követően a talaj 1 m rétegében talált 82 t/ha sómennyiség 28 t/ha-ra csökkent mélyebb rétegekbe távozva a lucernatermés után. Egyidejűleg 3%-ról 10%-ra emelkedett a vízálló morzsák aránya, a beázás mélysége 60 cm-ről 100 cm-re nőtt. A gyökér tömege az 1. évben 4,5 t/ha, a 2. évben 6,3 t/ha, a 3. évben 8,0 t/ha mennyiséget ért el összesen, bár a gyökerek több mint felét a szántott rétegben találták a 3. év végén is.

Az MTA TAKI Órbottyáni kísérleti telepén, Duna-Tisza közti karbonátos NK elemekkel rosszul ellátott homoktalajon, egy NPK műtrágyázási kísérlet 31-34. évében vizsgáltuk a lucerna trágyareakcióját olyan kísérletben, ahol már jól elkülönült NPK-ellátottsági szintek alakultak ki a talajban. Választ keresünk olyan kérdésekre is pl., hogyan változik a trágyázással és a kaszálásokkal a széna tömege, elemösszetétele, elemarányai. Mekkora lehet a makro-, és mikroelem felvétele? Milyen mérvű tápelem elvonás léphet fel egy 4 éves periódus alatt? Mennyiben használhatók a növényelemzés adatai a lucerna tápláltsági állapotának megítélésében? Miképpen hat az extrém K-hiány és a K-túlsúly a talajra és a növényre?

A Duna-Tisza közti karbonátos homoktalajon, az MTA TAKI Órbottyáni Kísérleti Telepén, valamint a mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon egyaránt azt találtuk, hogy a 200 mg/kg körüli AL-P₂O₅, illetve 200 mg/kg körüli AL-K₂O ellátottságú talaj kielégítheti a lucerna foszfor és kálium igényét. A továbbiakban bemutatjuk, hogy milyen mérvű elemfelvétel, elvonás, talajkimerülés

jelentkezhet egy kedvező periódus alatt és ez mennyiben veszélyeztetheti a talajtermékenység megőrzését.

15.táblázat:A lucerna elemfelvétele és szénahozama évenként és az 5 év alatt 2004-2008 között (Karbonátos homoktalaj, Órbottyán, Duna-Tisza köze) *In: Kádár 2012*

Elem Jele	Mértékegység	2004 3 kasz.	2005 4 kasz.	2006 4 kasz.	2007 3 kasz.	2008 3 kasz.	Össz. kasz.
N	kg/ha	226	368	379	295	312	1580
Ca	kg/ha	136	281	256	250	254	1177
K	kg/ha	149	204	192	88	111	744
Mg	kg/ha	18	34	34	29	30	145
S	kg/ha	23	34	33	25	25	140
P	kg/ha	17	33	34	22	27	133
Na	kg/ha	0,5	3,0	3,9	2,6	4,7	15
Fe	kg/ha	1,9	5,3	3,6	1,8	1,5	14
Al	kg/ha	1,9	3,8	2,6	1,1	1,4	11
Sr	kg/ha	0,6	1,1	0,9	0,7	0,7	4
Mn	kg/ha	0,6	0,7	0,6	0,5	0,4	3
B	g/ha	165	351	311	243	270	1340
Zn	g/ha	118	228	178	141	179	844
Ba	g/ha	79	71	55	50	44	299
Cu	g/ha	31	55	64	40	54	244
Ni	g/ha	11	11	13	9	6	50
Se	g/ha	5,6	10,8	8,8	8,0	5,4	38
Pb	g/ha	2,5	8,8	5,7	2,0	0,5	20
Cr	g/ha	2,6	6,8	3,6	2,8	0,2	16
Mo	g/ha	1,0	1,9	2,8	2,9	2,5	11
Co	g/ha	1,9	2,2	2,4	1,3	0,9	9
Széna	t/ha	5,5	11,0	10,2	9,8	8,6	45

Megjegyzés: As, Hg 0,1 g/ha méréshatár körül vagy alatt. A felvett N döntően a levegőből származott. kasz. = kaszálás, Össz.kasz.=A 17 kaszálás összege.

A Duna-Tisza közti Órbottyán Telepen beállított kísérletben a lucerna telepítése előtt 400 kg ha⁻¹ P₂O₅ és 600 kg ha⁻¹ K₂O adaggal feltöltő trágyázást végeztünk. Évente megosztva ősszel és tavasszal 50-50 kg ha⁻¹ N-t is adtunk. 2001-2004 között aszályos évünk nem adódott, részben ezért és a talaj jó tápelemtőkéjének hála az állomány 5 éven át képes volt fennmaradni és kielégítő terméseket adni. A lucerna szénahozamáról és elemfelvételéről évenként és a vizsgált 5 év összegéről a 15. táblázat tájékoztat.

Az 5 év alatt a lucerna 1,58 t/ha N-t épített földfeletti hajtásába. Nem tudjuk mennyi maradt a N-ben gazdag gyökerekben. Mivel évente a N adagja 100 kg ha⁻¹

volt, megállapítható, hogy a lucerna a felvett N több, mint 2/3-át a levegőből fedezte. A Ca-felvétel 1,18 t/ha mennyiséget ért el. A felvett K tömege 744 kg ha⁻¹ (893 K₂O kg/ha) volt, de mint láttuk az utóbbi 2-3 évben a talaj nem volt képes fedezni megfelelően a lucerna K-igényét. A talajkimerülés kérdését komolyan kell a lucerna telepítése előtt fontolóra venni. A talaj K és Ca elemekben egy 5 éves periódus alatt, hasonló körülmények között akár 1 t/ha mennyiséggel szegényedhet. A laza K-hiányos termőhelyen a K, a kilúgzott Ca-ban szegény talajon a Ca pótlásáról gondoskodni kell (Kádár 2012).

Az 1 t tervezhető szénatermés úgynevezett fajlagos elemtartalma 34-41 kg N; 25-30 kg Ca; 13-27 kg K; 3-4 kg Mg, S és P tartományban ingadozott az évek függvényében. Az 5 év átlagában ezen a termőhelyen 37-7-22-39-5=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO fajlagost kaptunk. A hazai szaktanácsadásban elfogadott irányszámokhoz viszonyítva, kísérleti körülményeink között emelkedett N, K, Mg fajlagosok adódnak. A tárgyalt irodalmi optimális összetétel alapján ez azonban nem tűnik valóban emelkedettnek, hiszen a N és Mg túlsúlya nem volt megállapítható. A K-tartalom pedig kifejezett hiányra utalt. Korábbi adatainkat is figyelembe véve a hazai szaktanácsadás irányszámait javasoljuk módosítani 35-7-25-30-5=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg/t tartalomra.

16. táblázat: A lucernaszéna tápelem-ellátottsági határkoncentrációi *Simkins et al. (1970)* szerint (Felső kb. 20 cm hajtás, bimbós állapot virágzás előtt)

Elem	M.egység	Hiányos	Alacsony	Kielégítő	Magas	Túlzott
K	%	1,8 alatt	1,8-2,0	2,0-3,5	3,5-5,0	5,0 felett
Ca	%	1,0 alatt	1,0-1,8	1,8-3,0	3,0-4,0	4,0 felett
Mg	%	0,2 alatt	0,2-0,3	0,3-1,0	1,0-2,0	2,0 felett
P	%	0,2 alatt	0,2-0,3	0,3-0,7	0,7-1,0	1,0 felett
S	%	0,2 alatt	0,2-0,3	0,3-	?	?
Fe	mg/kg	20 alatt	20-30	30-250	250-400	400 felett
Al	mg/kg	?	?	-200	200-400	400 felett
Mn	mg/kg	20 alatt	20-30	30-100	100-250	250 felett
B	mg/kg	20 alatt	20-30	30-80	80-100	100 felett
Zn	mg/kg	10 alatt	10-20	20-70	70-100	100 felett
Cu	mg/kg	5 alatt	5-10	10-30	30-50	50 felett
Mo	mg/kg	0,5 alatt	0,5-1	1-5	5-10	10 felett

Megjegyzés: *Bergmann (1992)* szerint a kielégítő ellátottság 3,5-5,0% N; 2,5-3,8% K; 1,0-2,5% Ca; 0,3-0,8% Mg; 0,3-0,6% P; 30-100 mg Mn; 35-80 mg B; 25-70 mg

A nemzetközi, általunk is ellenőrzött növénydiagnosztikai optimumokkal összevetve az állomány ezen a termőhelyen hiányt jelzett Zn, Cu, Mo mikroelemekben és a 4., illetve 5. évben kifejezetté vált a K hiánya is. A széna K-tartalma fokozatosan az 1% körüli értékre süllyedt a „kielégítőnek” tekintett 2% feletti K-koncentrációval. A lucernaszéna tápelem-ellátottsági határkoncentrációit *Simkins et al. (1970)* és *Bergmann (1992)* összeállítására alapján közöljük a 16. táblázatban.

2.8.A P-túltrágyázás okozta termésesökkenésről

Végül bemutatunk egy példát tanulságaival, amikor a bőséges foszfor-műtrágyázás 20 év után drasztikusan csökkentette a kukorica termését. Legnagyobb hozamokat a 20 év óta semmiféle trágyázásban nem részesült parcellákon kaptunk 1993-ban, ebben az aszályos évben. A 200 mg/kg feletti AL-P₂O₅ ellátottságú talajon a termések és az aratáskori tőszám 1/3-ára zuhant. Vajon miért? Ez a mezőföldi meszes csernozjom talaj eredetileg foszforral és cink mikroelemmel egyaránt gyengén ellátott volt. A P-trágyázás közismerten csökkenti a cink beépülését a növénybe, a kukorica Zn-igényes és a meszes talajokon a Zn mobilitása egyébként is mérsékelt.

17.táblázat: A foszfor túltrágyázás hatása a kukoricára 1993-ban. In: Kádár 2000 (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Vizsgált jellemzők	AL-P ₂ O ₅ mg/kg a talajban				SzD _{5%}	Átlag
	78	105	175	263		
Termésjellemzők						
Hajtás t/ha	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2
Szem t/ha	6,7	5,8	3,2	2,1	1,2	4,6
Szár t/ha	7,5	5,7	3,3	2,0	1,6	4,6
Szem+szár t/ha	14,2	11,5	6,5	4,1	2,6	9,2
Tőszám 1000 db/ha	70	52	32	22	12	44
1000-magtómeg, g	313	311	306	280	13	303
Foszfor a növényben, P%						
Hajtás	0,30	0,35	0,38	0,44	0,02	0,37
Szem	0,23	0,26	0,30	0,36	0,02	0,28
Szár	0,68	0,79	0,98	1,14	0,12	0,90
Cink a növényben, Zn mg/kg						
Hajtás	28	21	18	15	3	20
Szem	17	14	11	10	2	13
Szár	21	16	12	11	3	15
P/Zn aránya a növényben						
Hajtás	107	167	211	293	36	194
Szem	132	184	270	343	46	232
Szár	33	49	82	103	12	67

Amint a 17. táblázatban látható a P-kínálat nyomán a növényi részek P-tartalma megnőtt, a Zn-koncentráció pedig visszaesett. Irodalmi és korábbi saját vizsgálataink szerint a fiatal hajtásban 50-150 közötti tartományban van az ideális P/Zn arány. A 200 feletti P-túlsúly termésesökkenést indukál, amennyiben a növénybeni Zn-tartalom 20 mg/kg alá süllyed. Ebben az évben a N és K trágyák hatása mérsékelt maradt vagy nem is volt igazolható, bemutatásuktól eltekintettünk. Megemlítjük még, hogy a P-túlsúly gyomnövelő tényezőnek mutatkozott. A korai gyomfelvételezésünk szerint a kontrollon mért 2,5%-os gyomborítottság közel a 4-

szereére nőtt a P-trágyázás hatására, főként az *Amaranthus* és más nagytestű kétszikű gyomok nyomán. A kísérletet részletesen már ismertettük (Kádár 2004).

Hajtás 4-6 leveles korban; szem, szár, tőszám, 1000-magtömeg aratáskor. Optimális P/Zn arány a hajtásban 50-150 között. A 200 feletti P-túlsúly esetén termésökkenés léphet fel a Zn-hiány miatt, amennyiben a Zn koncentrációja 20 mg/kg alá süllyed irodalmi adatok és saját vizsgálataink szerint. A N és K trágyázás hatása mérsékelt maradt vagy nem volt igazolható.

Megjegyezzük, hogy a témában járatlan (nem agrokémikus/növénytaplálási) növénytermesztő vagy kereskedelmi szakemberek „ajánlásai” e talajra meghökkenőek. Így pl. „igen jó” ellátottságot emlegetnek 250-450 mg/kg AL-P₂O₅ tartalomnál, ahol hasonló évben a kukorica vagy más Zn-érzékeny kultúra kipusztulhat. És itt még a tervezett termés közel teljes P-igényével végzett P-trágyázást írják elő. Ott, ahol hosszú évekig szüneteltetni kellene a P-adagolást illetve Zn-trágyázást kellene foganatosítani. Sajnos az újabb növénytermesztési és egyetemi szakkönyvek is e szellemben íródtak (Antal szerk.: 2005). Íróik úgy tűnik képtelenek elszakadni a múlt század 70-es éveinek elvárásaitól: „több műtrágya, több termés” álmokat kergetve.

Irodalom

1. ANTAL J. (1987): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
2. ANTAL J. (Szerk. 2005): Növénytermesztéstan 1-2. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
3. BERGMANN, W. (1992): Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag. Jena-Stuttgart-New York.
4. CSERHÁTI S. (1901): Általános és különleges növénytermelés. II. köt. Magyar-Óvár. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda.
5. GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau. Verlag Paul Parey. Berlin und Hamburg. 358.
6. JAKUSKIN, I.V. (1950): Növénytermelés. I. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
7. KÁDÁR I. – VASS E. (1988): Napraforgó műtrágyázása és meszezése savanyú homoktalajon. Növénytermelés. 37: 541-547.
8. KÁDÁR, I. (2000): A kukorica tápelemfelvétele és trágyaigénye. Agrofórum. 11. évf. 3. sz. 41-43.
9. KÁDÁR I. - MÁRTON L. – HORVÁTH S. (2000): A burgonya (*Solanum tuberosum* L.) műtrágyázása meszes csernozjom talajon. Növénytermelés. 49: 291-306.
10. KÁDÁR I. – NÉMETH T. – RÉTI Á. – RADICS L. (2001a): A repce (*Brassica napus* L.) műtrágyázása karbonátos vályog talajon. I. Növénytermelés. 50:559-573.
11. KÁDÁR I. – LUKÁCS DNÉ – VÖRÖS J. – SZILÁGYI J. (2001c): A napraforgó (*Helianthus annuus* L.) műtrágyázása mészlepedékes vályog csernozjom talajon. Növénytermelés. 50:297-308.

12. KÁDÁR I. (2001d): A napraforgó (*Helianthus annuus* L.) tápelemfelvétele mészlepedékes vályog csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 50:285-295.
13. KÁDÁR, I. (2005): A talaj és a tápláléklánc szennyeződése. *Talajvédelem Különszám 129-137*. Szerk.: Antal K. et al. Talajvédelmi Alapítvány. SZIE, Gödöllő.
14. KÁDÁR I.-MÁRTON L. (2005): Búza műtrágyázása a mezőföldi OMTK kísérletben 1968-2004. között. *Növénytermelés*. 54:111-122.
15. KÁDÁR I.- MÁRTON L.- NÉMETH T.- SZEMES I. (2007): Meszezés és műtrágyázás hatása a talajra és a növényre a 44 éves nyírlugosi tartamkísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 56:255-270.
16. KÁDÁR, I. - RADICS, L. (2008): Műtrágyázás hatása a kukoricára karbonátos homoktalajon. *Növénytermelés*. 57: 305-318.
17. KÁDÁR I.- RAGÁLYI P. (2010): Soil nutrient supply, yield and mineral element composition of grass. In: Proc. 9th Alps-Adria Sci. Workshop. 149-152. Ed.: Marietta H. Spicak. Czech Republic.
18. KÉSMÁRKI I. (2005): In: *Növénytermesztés tan 2*. Lucerna. 357-385. Szerk.: Antal J. Mezőgazda Kiadó. Budapest
19. MATHERS, A.C.- STEWART, B.A.- BLAIR, B. (1975): Nitrate-nitrogen removal from soil profiles by alfalfa. *J. Environ. Qual.* 4:403-405.
20. MENGEL, K.- KIRKBY, E. A. (1987): *Principles of plant nutrition*. 4th Edition. International Potash Institute. Bern. Switzerland.
21. NAGY, J. (1996): Az öntözés és talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45(4): 389-398.
22. NIELSEN, D.R.- BIGGAR, J.W.- MAC INTYRE, J.- TANJI, K. K. (1980): Field investigation of water and nitrate-nitrogen movement in Yolo soil. In: *Soil nitrogen as fertilizer or pollutant*. pp. 145-168., Int. Atomic Energy Agency, Vienna.
23. RADICS L. (1994): *Szántóföldi növénytermesztés tan*. KÉE Kertészeti Kar. Budapest.
24. SIMKINS, C. A.- OVERDAHL, C. J.- GRAVA, J. (1970): *Fertilizer for alfalfa*. Univ. of Minnesota. Extension Folder 255. St. Paul, Minnesota, USA.
25. SZEMES, I. - KÁDÁR, I. (1990): Műtrágyázás és meszezés tartamhatásának vizsgálata savanyú homoktalajon. *Növénytermelés* 39: 147-155

Az MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet kiadványai

- ELEK ÉVA, KÁDÁR IMRE 1980. Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. Mezőgazdasági és Élelmezésügyi Minisztérium MÉM NAK. Budapest. 55 p.
- KÁDÁR IMRE 1991. A talajok és növények nehézfém-tartalmának vizsgálata. Környezetvédelmi Minisztérium – MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 104 p.
- KÁDÁR IMRE 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI (Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet). Budapest. 398 p.
- KÁDÁR IMRE 1993. A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. Környezetvédelmi Minisztérium – MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 112 p.
- DITZ HEINRICH 1867. A magyar mezőgazdaság. Szerk.: Kádár I. (1993) MTA TAKI. BUDAPEST. Akaprint. 247 p.
- KÁDÁR IMRE, SZEMES IMRE 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest. Akaprint. 248 p.
- CSATHÓ PÉTER 1994. A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrár-termelés. Szakirodalmi Szemle. Akaprint. Budapest. 182 p.
- KÁDÁR IMRE 1995. A talaj–növény–állat–ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. Környezetvédelmi Minisztérium–MTA TAKI. REGICON Nyomda. Kompolt. Budapest. 388 p.
- LIEBIG JUSTUS v. 1840–1876. Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és a növényélettanban. (Szerk.: Kádár I.1996) MTA TAKI. Akaprint. Bp. 341 p.
- THAER ALBRECHT 1809–1821. Az ésszerű mezőgazdaság alapjai. Trágyázás-tan. (Szerk.: Kádár I. 1996) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 100 p.
- NÉMETH TAMÁS 1996. Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI. Budapest. 382 p.
- KÁDÁR IMRE 1998. Kármentesítési Kézikönyv 2. A szennyezett talajok vizsgálatáról. Környezetvédelmi Minisztérium. Nyomda: FHM. Budapest. 151 p.
- LÁSZTITY BORIVÓJ 2004. A nem-esszenciális elemek forgalma hazai gabona-félékben. Műegyetemi Nyomda. Budapest. 94 oldal.
- RAJKAI KÁLMÁN 2004. A víz mennyisége, eloszlása és áramlása a talajban. Licium-Art Kft. Debrecen. 208 oldal.
- NÉMETH TAMÁS, MAGYAR MARIANNA Szerk. 2005. Üzemi szintű tápanyag-mérleg számítási praktikum (Üzemi tápanyag-mérlegek számításának alapelvei és módszerei). Spácium Kiadó és Nyomda Kft, Budapest. 116 p.
- NÉMETH TAMÁS (Szerk. 2005). A talaj vízgazdálkodása és a környezet. Ünnepi ülés Várallyay György 70. születésnapja alkalmából. MTA TAKI. Spácium Kiadó és Nyomda Kft. Budapest. 180 p.
- KOVÁCS GÉZA JÁNOS, CSATHÓ PÉTER (Szerk.): A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. Agronómiai és környezetvédelmi tanulságok. MTA TAKI–FVM, OPENART. Budapest. 264 p.
- LIEBIG, JUSTUS 1842. A szerveskémia alkalmazása az élettanban és a kórtanban. (Szerk. Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 132 p.

- WOLFF EMIL 1872. Gyakorlati Trágyázástan. A fontosabb növényi tápanyagokról szóló bevezetéssel. Közérthető agrokémiai vezérfonal. (Szerk. Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 128 p.
- NÉMETH TAMÁS, NEMÉNYI MIKLÓS & HARNOS ZSOLT (Szerk. 2007): A precíziós mezőgazd. módszertana. JATEPress – MTA TAKI. Szeged. 239 p.
- WILHELM KÖRTE 1839. Albrecht Thaer élete és munkássága orvosként és mezőgazdaként.(Szerk.: Kádár I. 2007) MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 185 p.
- KÁDÁR IMRE 2010. Az MTA TAKI 60 éve (Kommentár nélkül). MTA TAKI. Akaprint. 120 p.
- KÁDÁR IMRE, SZEMES IMRE, LOCH JAKAB & LÁNG ISTVÁN 2011. A nyírlugosi műtrágyázási tartamkísérlet 50 éve. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 110 p.
- KÁDÁR IMRE, MÁRTON LÁSZLÓ, LÁNG ISTVÁN 2012. Az őrbottyáni 50 éves örökrozs és egyéb műtrágyázási tartamkísérletek tanulságai. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 172 p.
- KÁDÁR IMRE 2012. A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet első évtizedének tanulságai. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 177 p.
- KÁDÁR IMRE 2012. A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 359 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. A mezőföldi műtrágyázási tartamkísérlet tanulságai 1984-2000. MTA ATK TAKI. Budapest. 357 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. A gyepek műtrágyázásáról. MTA ATK TAKI. Budapest. 290 p.
- KÁDÁR IMRE 2013. Szennyvizek, iszapok, komposztok, szerves-trágyák a talajtermékenység szolgálatában. MTA ATK TAKI. Budapest. 346 p.
- KÁDÁR IMRE 2015. Gércei alginit hatása a savanyú homoktalaj termékenységére. MT ATK TAKI. Budapest. 36p.
- KÁDÁR IMRE 2015. Összefüggések a talaj termékenysége és tápanyag-ellátottsága között. MT ATK TAKI. Budapest. 389p.

Beszerezhető a szerzők címén: 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.
Postacím: 1525 Budapest, Pf. 35. Tel./Fax: 212
2265 illetve letölthetők az MTA ATK TAKI
honlapról
<http://mta-taki.hu/kiadvanyok/szerzo-kiadvanyai>