

SZEMLE**Review****Szemelvények az Agrokémiai és Növény táplálási Osztály
kutatásaiból (1974–2009)**KÁDÁR IMRE–SARKADI JÁNOS

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

**Excerpts from the research of the Department of
Agrochemistry and Crop Nourishment (1974–2009)**I. KÁDÁR–J. SARKADIResearch Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of
the Hungarian Academy of Sciences (RISSAC), Budapest**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:

1. A szerves és műtrágyaformák hatásának vizsgálata
2. A trágyázást, a talajtermékenységet befolyásoló talajtulajdonságok vizsgálata
3. A műtrágyaigény becslési módszereinek kidolgozása

Az itt említett kutatási témák örökzöld jellegét bizonyítja, hogy ez a kutatómunka szakadatlanul folyik az Agrokémiai és Növénytaplálási 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 Növénytaplálási 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 beszámolók 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.

Szerves és műtrágyák hatása a talaj termékenységre

(Sarkadi János)

A pontosan nehezen meghatározható, relatív fogalmat jelentő talajtermékenység többféleképp is mérhető. Leggyakrabban a talajon termett növényekkel, termesztett 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 talajtulajdonságoktól, hanem többek között a növény fajtától, fajtajától, az időjárástól és számos egyéb tényezőtől függ. Többé-kevésbé reális eredményekre csak hosszabb ideig tartó megfigyelésekből, szabatos tartam-

kísérletekből 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**
(Sarkadi János)

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 karbonátmentes 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 szervetlen 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 termesztett 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 (Sarkadi János)

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 termesztett 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 termesztettekénél. 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 kitűnik, hogy az intenzíven takarmányozott állatok jól kezelt

trágyája lényegesen több N-t, valamint P-t és K-ot tartalmaz a régebben elemzettéknél. 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% P_2O_5 illetve 0,6% K_2O -nál lényegesen többet, átlag 0,4% P_2O_5 -ot, illetve 1% K_2O -t találtunk a vizsgált istállótrágyákban. Jó minőségű, rendszeres istállótrágyázáskor 10 tonnánként, tehát mintegy 40 kg P_2O_5 -dal illetve 80–100 kg K_2O -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, ha a közismert 40–30–20–10% megoszlással számolunk.

Az istállótrágya és a műtrágyák kölcsönhatásai

(Sarkadi János)

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 növény-vizsgálataink 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 $AL-P_2O_5$ -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 szervesztrágyázás 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 talajban maradt P_2O_5 utóhatása – más helyeken tapasztaltakkal egyezően – igazolhatóan nagyobb volt az évente adott 80 kg/ha P_2O_5 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 termesztett 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 szervesztrágyázással 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 P_2O_5 és 80–100 kg K_2O -nak becsülhetjük.

A műtrágyaigény-becslési módszerek továbbfejlesztése

(Sarkadi János)

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 trágyaha-

tásokat 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 tápelemektől és a műtrágyák érvényesülésétől 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 termett búza N-koncentrációja lényegesen kisebb, mint a keleti arid övezetekben termesztetté. Ezt a tendenciát – sokkal kisebb mértékben ugyan – a nyugat- és kelet magyarországi tájakról származó minták elemzése is igazolja.

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 fajtákénál. 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. Ezeken kívül a levegőből és a csapadékból származó N mennyiségét is megbecsültük. A mérleg veszteség oldalán a betakarított főtermékek mennyiségével beszorított 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-től 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 kg/ha P_2O_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 terveknel jóval kisebb, később realisabbnak 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 nagymértékben függ a talajtulajdonságoktól

és az időjárástól. Ezért a szakszerű trágyázási szaktanácsadás során a talaj táp-elem-ellátottságát szabatosabb módszerekkel, talaj- és növényvizsgálatokkal kell megítélni.

Laborvizsgálati módszerek fejlesztése

(Sarkadi János)

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 kolorimetrikus módszereket. Megállapítottuk, hogy a talaj „összes P” tartalmának mérésére jól alkalmazható a klasszikus ömlesztéseknél jóval egyszerűbb $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2$ -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 rozscsira-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. Hamarosan 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 kivonószer 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-gyűjteményünk 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 kistenyészédes 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 MÉM 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 tenyészédes 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 Aranyféle kötöttségi száma (KA) szerepelt. A KSzE agrárfejlesztő Rt.-vel közösen ki-

alakított 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 kombinációiból 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 műtrágyafelhasználás-csökkentését nem tudtuk megakadályozni, a program a szükséges hiteleket nem tudja biztosítani.

A talaj P-forgalmának vizsgálata

(Sarkadi János)

Közismert, hogy a talaj P-vegyületeinek mozgékonyasága kicsi, a talajoldat viszonylag nagyon kevés foszfátiont tartalmaz. A műtrágyák első évi hasznosulása – a P-nélküli kontrollhoz viszonyított többlet a P-felvételből számítva – ritkán haladja meg a 25–30%-ot. E tapasztalatból alakult ki már a múlt században az a vélemény, hogy a várható termés P-tartalmának legalább három-négy-szeresét 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 kg/ha P_2O_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 vízzoldható 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 kitűnt, 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 kitűnt, 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 vízzoldható 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 vízzoldható P. Nagyadagú P-trágyázás okozta Zn hiány terméscsökkentő 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 kg/ha P_2O_5 utóhatása még 20 év után is igazolható volt. Az utóhatás mértéke természetesen függ a kísérleti növény fajtától, 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 „rég” 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 utóha-

tása. 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 kg/ha P_2O_5 tartalmú szuperfoszfát termésfokozó 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 (Nagyhörceökhöz hasonlóan) a mintegy 700 kg/ha talajban maradt P_2O_5 hatékonysága az első ciklusban nagyobb volt a frissen adott évi 80 kg/ha P_2O_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 terménynövelő 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.

Savanyú talajok termékenységének növelése meszezéssel (Kádár Imre)

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 mészigényét és megfogalmaztuk azokat a kutatási prioritásokat, valamint hatósági 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 termeszthető 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 mészigényes kultúrák termesztésénél. A hazai kísérletek szerint a terméstopplett 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 mészigénye mintegy 1 millió t/év CaCO_3 egységre becsülhető, amennyiben a civilizációs hatásokat (gazdálkodás, műtrágyázás, légköri terhelés) is ellensúlyozni kívánjuk, valamint a már elsavanyodott tala-

jok 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 meszezésre 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 mészigény tehát kb. 3 millió hektáron jelentkezhet.

Műtrágyázási tartamkísérletek tanulságai homoktalajokon

(Kádár Imre)

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 (2×5 év), illetve burgonya-búza (2×4 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 előrehaladtával. Összességében az együttes NPK műtrágyázással megkétszerezhetjük 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 kezeléseknél, és ezen parcellák talaja a „megfelelő” ellátottsági kategóriába jutott. A meszezett 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. Utóbbit 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 kezeléseknél, a kontrollhoz viszonyított termések 3,5-szeresre emelkedtek elérve a 2,6 t/ha kaszattömeget, illetve az 1,2 t/ha olajhozamot. A meszezett 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 termelt növényekéhez és az irodalmi optimumhoz.

A '90-es években triticalesz monokultúrává alakult a kísérlet. Az évtized első felének aszályos időjárása nem tudta érvényre juttatni a műtrágyahatásokat. A kedvező 1998. évben azonban, a 8. éves triticalesz monokultúrában a 36 éves 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, triticalesz) is sikerrel termesztethetők 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 őrlött 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 ítéltető meg a jövő. Ezért igyekeznek 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, Dvoracsek 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 K_2O 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 optimális közeli kationarányokat a növényi szövetekben. Így nemcsak a haszonnövények termése nő, hanem javul a minőség, ásványi összetétel, közvetetten a gazdanövény gyom-elnyomó képessége, aszályal és betegségekkel szembeni ellenállása. Mivel a főváros körüli zöldségellátó övezet jórészt a karbonátos homoktalajokra települt, a minőségi követelmények szükségessé teszik a koloidszegény, gyengén puffertalajok 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

(Kádár Imre)

A trágyázásnak leegyszerűsítve kettős célja van. Egyrésztől elkerülendő a termésveszteség 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. 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.

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 (1)	Trágyázás intenzitása (fajlagos igény szorzófaktor) (2)		
	Trágyaigényes (3)	Nem trágyaigényes (4)	Forgó egésze (5)
Káros (6)	-	-	-
Magas (7)	1,0	-	0,5
Kielégítő (8)	1,5	0,5	1,0
Közepes (9)	2,0	1,0	1,5
Gyenge (10)	2,5	1,5	2,0

Megjegyzés: A kalászosok P-igényesek, a kapások K-igényesek általában. A napraforgó homoktalajon trágyaigényes, kötött talajon nem igényes.

Table 1. Recommended P and K fertilisation in a crop rotation depending on the soil supply and the fertiliser demand of the crop (Kádár 1989). (1) P and K supply category, (2) Intensity of fertilisation (multiplication factor of the specific demand), (3) Fertiliser demanding, (4) Not fertiliser demanding, (5) The whole crop rotation, (6) Harmful, (7) High, (8) Adequate, (9) Medium, (10) Weak. Note: Generally, cereals are P-demanding, whereas root crops are K-demanding. Sunflower is fertiliser-demanding on sandy soil, unlike on heavy soils.

A műtrágyahatásokat módosító egyéb tényezők figyelembevétele:

1. A N-igény *csökken* egyéves pillangós elővetemény után átlagosan 30, évelő 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 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.
4. A fajlagos átlagos K_2O 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_2O_5	40 kg K_2O
Második évben	20 kg N	20 kg P_2O_5	30 kg K_2O
Összesen a forgóban	40 kg N	40 kg P_2O_5	70 kg K_2O
6. Az NPK-igény csökken az alábbi módon, átlagos összetétellel számolva, minden m^3 hígtrágya leszántásakor:

Friss trágya	1,5 kg N	0,6 kg P_2O_5	0,9 kg K_2O
Állott trágya	1,0 kg N	0,4 kg P_2O_5	0,8 kg K_2O
7. 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 (1)	A PK-ellátottsági tartomány határkoncentrációi (2)				
	Gyenge (3)	Közepes (4)	Kielégítő (5)	Magas (6)	Káros (7)
AL-P ₂ O ₅ , mg/kg					
Savanyú (8)	50 alatt	50–80	81–120	121–150	151 felett
Semleges (9)	80 alatt	81–120	121–150	151–200	201 felett
Karbonátos (10)	100 alatt	101–150	151–200	201–250	251 felett
AL-K ₂ O, mg/kg					
Homok (11)	50 alatt	51–100	100–150	151–200	201 felett
Vályog (12)	100 alatt	101–150	151–200	201–250	251 felett
Agyag (13)	150 alatt	151–200	201–250	251–300	301 felett

Table 2. Recommended limit values of the AL-soluble PK content of soil under field conditions. (Kádár 1992). (1) Soil of the production site, (2) Limit values of the PK supply range, (3) Weak, (4) Medium, (5) Adequate, (6) High, (7) Harmful, (8) Acidic, (9) Neutral, (10) Calcareous, (11) Sand, (12) Adobe, (13) Loam.

A növénytáplálás alapelveinek és módszereinek vizsgálata (Kádár Imre)

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 termések stagnáltak, talajaink szegényedtek, mert a termésekkel 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 növény táplálással kapcsolatos agronómiai/agrokémiai ismereteink zöme a szabadföldi kísérletekből származik. Az újabb kori igényeknek megfelelően olyan szabadföldi kisparcellás 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) 4^3 típusú 64 kezeléssel 128 parcellás kísérletben elemezzük a különböző $\text{N} \times \text{P} \times \text{K}$ 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 tápanyagfelvételüket 20–25 elemre kiterjedően. Ezek az adatok a hazai irodalomból jórészt hiányoztak.

A kísérletek lehetővé tették a főbb ionantagonizmusok ($\text{P} \times \text{Zn}$, $\text{K} \times \text{Ca}$, $\text{K} \times \text{Mg}$, $\text{K} \times \text{Sr}$ stb.) és szinergizmusok ($\text{P} \times \text{Sr}$, $\text{N} \times \text{Ca}$, $\text{N} \times \text{Mg}$) bemutatását szabadföldön és értelmezésüket a trágyahatások magyarázatában, közvetlenül a szaktanácsadásban. A tápláltság \times 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 kultúrnövénnyel 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 túlsúly megkétszerezheti, 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 arányai 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 eljárason túl az ellátottsági határértékeket és azok értelmezését is bemutattuk.

Vizsgáltuk a tenyészcedény 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 helyettesíthetni a kísérleti módszereket és technikát. A növény táplálás alapelveit és módszereit monografikusan kézikönyvünk foglalta össze 1992-ben a hazai kutatás és szaktanácsadás számára.

A talajok mikroelemekkel való szennyezésének vizsgálata

(Kádár Imre)

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:

1. Hazai talajok szennyezettsége és a szennyezett talajok elterjedése Magyarországon.
2. Környezetszennyezés/talajszennyezés forrásai. Szennyező elemek mérlegei, bevétel és kiadás tételei Magyarországon.

3. Szennyezők viselkedése a talajban (megkötődés, kilúgzás, elillanás), hatásuk a talajéletre, növényre (termés, minőség, toxicitás, elemakkumuláció stb.).
4. Mely termőhelyek, talajok, növények, vízbázisok a leginkább veszélyeztetettek?
5. Mit tegyünk a leginkább veszélyeztetett objektumok (talaj, növény, víz, állat, ember) védelme érdekében?
6. 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-Pusztá) 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 egyszeri adagot jelentett oldható sók formájában. Az első 8 év folyamán fitotoxicitást 4–5 elem sója mutatott. Kiemelhető főbb új megállapítások az első évtizedben:

1. Az arsenit formában adott As a maximális terhelésnél sem dúsult a növényi szervekben, mindössze 1–2 ppm koncentrációt jelzett. Terméscsökkentő hatása csak a későbbi években vált kifejezetté, különösen a borsó és a spenót tűnt ki érzékenységgel. További vizsgálatokkal dönthető el, vajon az adott arsenit mérgezőbb arsenáttá alakulhatott-e a talajban. Kílúgzásnak lehet alávetve.
2. 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 kílúgzásnak ellenállt.
3. 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 szervekben.

4. 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.
5. 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.
6. 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 szellőzött karbonátos talajon. A Se esszenciális jellegére utal, hogy a Mo-hez hasonlóan extrém akkumulációt mutat minden növényi fajnál és a generatív szervekben is. Kilúgzása nyomon követhető volt a talajprofilban, légköri elillanására a Se-kezelt parcellák fokhagymaszaga utalt.

Néhány mikroelem/szennyező mozgása a táplálékláncban

(Kádár Imre)

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 állattetési kísérletekre is, melyeket sokirányú kórbonctani, kóréletteni, anyagforgalmi vizsgálatokkal kell kiegészíteni. Másrészt 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 állattetési 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 takarmánnyként. A talaj, takarmány, nyúl-szervek, 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:

1. *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.
2. *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 visszaszántjuk a talajba. Ilyen módon a káros elemek forgalma egy nagyságrenddel csökkenthető, illetve a tápláléklánc terhelése mérsékelhető.
3. *Állat.* A fajoként 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.
4. *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.
5. 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:

- 1.) *Sarkadi János*: 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- 2.) *Kádár Imre*: 1992. A növénytaplálás alapelvei és módszerei. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet. Budapest.
- 3.) *Kádár Imre*: 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM-MTA TAKI. Budapest.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Kádár Imre
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet
Budapest
Herman O. u. 15.
H-1022