

A műtrágya-felhasználás és -hatékonyság, valamint a talajtermékenység kutatásának fejlődése

E dolgozat célja, hogy áttekintést adjon a műtrágyázásban bekövetkezett mennyiségi változásokról. Ez a téma magában foglalja azokat a problémákat, amelyek a műtrágyák maximálisan hatékony felhasználásával kapcsolatosak, és azokat a kutatásokat, amelyek a problémák megoldására irányultak. Körvonalazom továbbá a műtrágyák szerepét a talajtermékenység hatékonyabb kontrollját célzó kutatásokban.

A NPK-műtrágyázás története és jelenlegi helyzete a világon

A FAO [16] közzétette a NPK felhasználására vonatkozó adatokat országok és földrészek szerint. Az 1913 óta eltelt egyes évekre vonatkozó becslült mennyiségek az 1. táblázatban találhatóak. A legutóbbi 42 év (1939—1981) során a világ N-műtrágya-felhasználása huszonháromszorosára, míg a P- és K-felhasználás közel kilencszeresére növekedett. Mindent egybevetve a fejlett országok kb. 50%-kal több nitrogént, több mint kétszer annyi foszfort és ötször annyi káliumot használnak fel, mint a fejlődő országok, annak ellenére, hogy az utóbbiakban nagyobb számú lakosságot kell élelmezni. A NPK arányok 1980—81-ben a következők voltak:

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Világviszonylatban	1	0,52	0,40
A fejlett országokban	1	0,62	0,57
A fejlődő országokban	1	0,38	0,16

Ami a súlyarányokat illeti, a fejlett országokban mind a P₂O₅-, mind a K₂O-felhasználás közel fele a N-felhasználásnak, a fejlődő országokban viszont a P₂O₅ csupán egyharmadát, a K₂O egyhatodát teszi ki. A felhasznált foszfornak és káliumnak a nitrogénhez viszonyított csekély aránya gátolja a fejlődő országok termelésének növelését. Ezekben az országokban a legtöbb talaj csekély tápanyagtartalékkal rendelkezik, amely csak arra elegendő, hogy a hagyományos termelésben a termésátlagokat fenntartsa. Ha a nagyobb termések elérése céljából több nitrogént adnak, a talaj P- és különösen K-készletei hamar kimerülnek, és ez fogja korlátozni az elérhető termést. Következésképpen, ha a fejlődő országok — termelésük növelése érdekében — több N-műtrágyát alkalmaznak a nemesített növényfajtákhoz, akkor a felhasználásra kerülő P és K mennyiségét is emelniük kell, hogy a befektetések teljes mértékben hasznosuljanak. Például Roy és munkatársa [36] már rámutattak, hogy Indiában a belterjes termelési rendszerekben több kálium felhasználása szükséges.

Az 1. táblázat a FAO adatai [16] alapján azt is mutatja, hogy az egyes földrészekben milyen eltérő a műtrágya-felhasználás. Szembetűnőek az alkalmazott NPK kis adagjai Afrikában és nagy adagjai Európában. A műtrágyázás jelenlegi helyzetét VON PETER [43] tárgyalta, és

1. táblázat

A felhasznált N-, P-, K-műtrágyamennyiség alakulása a világon 1913—1981 között és a területi megoszlása 1980-ban

Év	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Terület	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	millió t				kg/ha		
1913*	1,3	2,0	0,9	Világ	13,2	6,9	5,3
1939	2,6	3,6	2,8	Afrika	1,9	1,2	0,4
1954	5,6	6,4	5,7	Észak- és Közép Amerika	20,9	9,6	10,3
1960	9,7	9,7	8,6	Dél-Amerika	2,5	4,1	2,6
1970	28,7	18,8	15,5	Ázsia	20,1	6,4	2,3
1975	38,9	22,8	19,9	Európa	62,7	37,4	36,9
1981	60,3	31,5	24,3	Óceánia	0,5	2,3	0,4
1980—1981:				Összes fejlett ország			
Fejlett országok	35,5	22,0	20,0	átlaga	18,3	11,3	10,4
Fejlődő országok	24,8	9,5	4,0	Összes fejlődő ország			
				átlaga	9,4	3,6	1,5

* Az 1913. évi adatok becslések

bemutatta, hogy 1967—1978 között a NPK-felhasználás gyorsabban növekedett a fejlődő országokban, mint a fejlettekben:

	Évi növekedés %-ban		
	N	P	K
Világviszonylatban	7,5	5,1	5,8
Fejlett országokban	6,5	3,7	5,3
Fejlődő országokban	10,3	12,0	10,4

A FAO szerint, ha a Föld növekvő népességének élelmiszerigényét ki akarjuk elégíteni, 1975—2000 között a fejlődő országokban a műtrágya-felhasználást hétszeresére kellene emelni. Szerényebb becslések szerint a NPK-felhasználás négy-ötszörösére kell, hogy növekedjen a következő húsz évben.

Változások a műtrágyaválasztékban

Az utóbbi harminc év során nagy változások történtek a műtrágyák választékában. Ezek a változások a gyártási módszerek fejlődésének eredményei, melyek hatásosabb termékekhez vezettek; a nagyobb koncentráció csökkentette a csomagolás, szállítás és felhasználás költségeit. Harminc évvel ezelőtt a nitrogén és a foszfor általános forrása az ammónium-szulfát és az egyszerű szuperfoszfát volt. Ezeket javarészt felváltotta az ammónium-nitrát, karbamid, ammónium-foszfát és hármasszuperfoszfát. E dolgozat tárgya szempontjából a legfontosabb változás a karbamid-előállítás nagyméretű növekedése volt. Sok területen, különösen Ázsiában, ma már a karbamid a legelterjedtebb N-műtrágya, amelynek a fontossága a világ N-műtrágya-ellátásában valószínűleg még növekedni fog. Ez a változás nagyon fontos, mivel sajátos felhasználási módszerek szükségesek e N-forrás hatékonyságának biztosítására, az ammónia-vesztések megakadályozására. Általános igény azonban, hogy a műtrágyaféleségek mind a talajtulajdonságoknak, mind pedig a növények szükségleteinek megfeleljenek.

A műtrágyák hatékonysága

A műtrágya-felhasználás nagymértékű növekedése, amelyet a I. táblázatban láthatunk, hangsúlyozza ezeknek az anyagoknak a fontosságát a modern mezőgazdasági termelési rendszerekben. Például az Egyesült Királyságban a műtrágyák és meszező anyagok együttesen több mint az 1/8-át képezik a mezőgazdaságban történő összes befektetéseknek. Más országokban a műtrágyázás költsége lényegesen nagyobb, mert míg az Egyesült Királyságban 111 kg/ha tápanyagot ($N + P_2O_5 + K_2O$) használnak fel a mezőgazdasági területre, Magyarországon ennek majdnem a kétszeresét (211 kg/ha), Hollandiában és Japánban pedig kb. a háromszorosát (336, ill. 332 kg/ha). Mivel a műtrágyák ilyen fontosak, az is lényeges, hogy a kutatás elősegítse a lehető leghatékonyabb alkalmazásukat. A hatékonyság magában foglalja azt a követelményt, hogy a kiadagolt műtrágyát teljes egészében vegye fel a trágyázott növény, vagy a vetésszorgóban egymást követő termények, tehát a megvásárolt műtrágya egy hányada se menjen kárba (esetleg ráadásul úgy, hogy környezetszennyezést okoz), vagy kötődjön meg irreverzibilis módon a talajban (felvehetetlené válva a növények számára).

A műtrágyázással kapcsolatos kutatások során a hatékonyság-vizsgálatokat azért végzik, hogy kiválasszák azokat a műtrágyaformákat és alkalmazási módszereket, amelyek biztosítják, hogy az összes felhasznált tápanyagot felvehessék a növények, és ily módon azok az alapvető célt, a termékek növelését szolgálhassák. Amennyiben ez a cél nem valósul meg, annak okát a következőben kereshetjük:

Megkötődés — A tápanyagok a talaj szervesen anyagaival lépnek reakcióba, vagy a szerves anyagba épülnek be. Ezek a tápanyagok, amelyek így a talajtartalékot gazdagítják, lassan felvehetővé válnak a növények számára vagy a szervesen anyagok oldódása következtében, vagy pedig a talaj-mikroorganizmusok révén, melyek megbontják a növényi maradványokat és a talaj szerves anyagát. Ilyenkor a műtrágyák hasznosulása késik, bár az alkalmazott tápanyagok nem vesznek el örökre.

Talajerózió — A szél vagy víz által elhordott talajban levő összes tápanyag kárba vész, természetesen a talajra frissen adagolt műtrágya is. Ez a gazdálkodó számára anyagi veszteséget jelent, ugyanakkor pedig a folyók és tavak eutrofizációjának okozója is.

Kimosódás — A talajon átszivárgó víz a tápanyagoknak a termelési rendszerből való teljes elvesztését eredményezheti. Sokféle tápanyag mosódhat így ki. A legnagyobb figyelmet jelenleg a nitrátvesztésnek kell szentelni, azonban a kalcium-, magnézium- és szulfátiókon is könnyen kimosódhatnak, sőt a kálium is az olyan talajokból, amelyekből hiányoznak a 2:1 típusú agyagásványok. A mikrotápanyagok közül a bór szintén hajlamos a kimosódásra.

Párolgás — Ez csak a nitrogént érinti jelentős mértékben; az ily módon bekövetkezett veszteségeket később tárgyaljuk.

A műtrágya-felhasználás hatékonysága

A növénytermékek emelkedését gyakran használják a műtrágyázás hatékonyságának jellemzésére, különösen a nitrogén esetében, amikor az egységnyi területről betakarított termésmennyiséget a felhasznált N-műtrágyamennyiséghez viszonyítják. Az ilyen adatértelmezést arra kell alapozni, hogy a műtrágyát teljesen felveszi a növény, és ilyenkor adatok szükségesegek mind a növényi összetételről, mind a terméstről. Például, ha egy búzanövény 2,0% N-t tartalmaz a szemben, 0,5% N-t a szalmában, és az arány 0,5 (azaz a szem és szalma súlya egyforma) akkor a hatékonyság felső határa 40 kg szemtermés/1 kg N. Ilyen nagy hasznosulás azonban ritkán figyelhető meg.

A legtöbb vizsgálat azt mutatja, hogy a termésnövekedésben kifejezett hatékonyság a növekvő műtrágyaadagokkal csökken. Azt is mutatják a vizsgálatok, hogy a műtrágyázással elért termésnövekedés az emelkedő hozammal párhuzamosan növekszik. DYKE és munkatársainak közleménye [14] a klasszikus Rothamsted-i Broadbalk búzakísérletek eredményeiről jól

illusztrálja e tényt. Az első 48 kg/ha felhasznált N-műtrágya hatására a búza tartamkísérletben 1 kg N-re 31 kg szemtermés jutott 1970—78-ban. A második N-adag esetében (96—48 kg/ha) a szemtermés már csak 23 kg/kg N volt. Több mint egy évszázadon keresztül a Broadbalk kísérletben a szemtermés csekély mértékben változott 1968-ig, az új termelési rendszer bevezetéséig. Ez magában foglalta az intenzív növényfajták és kémiai növényvédő szerek alkalmazását, valamint olyan vetésforgó kialakítását, amely a búza gyökérbetegségeit meggátolta. A termések azonnal megkétszereződtek. ДУКЕ és munkatársai [14] a következő adatokat közölték a 48 kg N/ha műtrágya hatására vonatkozóan:

Időszak	Búzafajta	Szemtermés t/ha		Hatékonyság kg szem/kg N
		N alkalmazásával	N nélkül	
1852—1861	Red Rostock	1,91	1,29	13
1902—1911	Squareheads Master	1,58	1,00	12
1970—1978	Capelle Desprez	3,52	1,78	36

Ezek az adatok, valamint sok más országban elért kísérleti eredmények azt mutatják, hogy akkor érhetünk el nagy műtrágya-hatékonyságot, ha nagy hozamú fajtákat termesztünk, megfelelő körülmények között. Azok a növények, amelyek növekedése akár genetikai potenciáljuk, akár környezeti hatások következtében korlátozott, nem képesek teljes mértékben kihasználni a műtrágyázást. Angliában NEEDHAM [33] bemutatta, hogy a N-műtrágyák hatékonysága helyről-helyre nagymértékben változik, a kísérleti középértékek 16—18 kg szem/kg N között mozognak, de esetenként 30 kg szemtermést meghaladó értékeket is kaptak.

Jóllehet a műtrágyázás hatékonyságát gyakran a fent leírt módszerrel fejezik ki, tehát összehasonlítják a kezelt és kezeletlen növények termését, ismernünk kell az így kapott eredmények korlátait. Például a műtrágya-N talajban levő N-vegyületek hasznosulását is befolyásolja. Ezért valódi műtrágyahatás csak akkor mérhető, ha a műtrágyák tápanyagainak izotópokkal jelezzük.

Jelenlegi kutatások a nitrogénműtrágyák hatásosságára vonatkozóan

Jelenleg az egész világon prioritást élveznek a nitrogénhatás növelésére irányuló kutatások. Ez több okkal is magyarázható. A legtöbb országban a felhasznált N-műtrágya ára képezi a műtrágyázás összköltségének legnagyobb részét (például az Egyesült Királyságban a farmerek közel háromszor annyit költenek nitrogénre, mint foszforra + káliumra). Ezenkívül a N-műtrágyák előállításához sok fosszilis energia szükséges. Egy másik ok az, hogy ha a N-hasznosulás alacsony, azaz a növények nem veszik fel kellő mértékben, akkor N-vesztéssel kell számolni a nitrátok kimosódása, illetve a N elillanása (denitrifikáció, az ammónia párolgása) következtében. Ezek a folyamatok nemcsak anyagi veszteséget jelentenek a farmerek számára, de környezetszennyező hatással is járnak. Az sem hagyható figyelmen kívül, hogy az alkalmazott N-műtrágyák jelentős részét lekötetik a talaj szerves anyagai. Ez a N-mennyiség ugyan nem vész el a rendszerből, de a mikrobiológiai tevékenység következtében végbemenő mineralizációja, amelynek során a növények számára felvehető nitrát szabadul fel, lassú és bizonytalan.

A N-vesztés mechanizmusainak kutatása sok vizsgálat tárgyát képezte már eddig is. A ¹⁵N-izotóppal jelzett N-műtrágyák használata lehetővé tette a N-vegyületek átalakulási folyamatainak nyomon követését a talaj-növény rendszerben. Ez számottevően kiszélesítette ismereteinket, következőképpen lehetővé tette a N hatékonyságának növelését. Ma már mérhető a műtrágya-N-ek a gyökerekbe, mikrobiális maradványokba, a talaj szerves anyagaiba beépült része, valamint az e módon lekötött nitrogén mineralizációjának az üteme.

Kimosódás

A talaj N-veszteségét három folyamat okozza; közülük a kimosódással foglalkoztak a legtöbbet. E kutatások nagy részének az volt a célja, hogy modelleket készítsenek a nitrátoknak (és más ionoknak) a talajszelvényben való mozgásáról. Ezeknek a modelleknek a felhasználásával előre jelezhető, hogy a kilúgzódást hogyan befolyásolja az alkalmazott nitrogén mennyisége, a talaj tulajdonságai, a talaj vízmérlege, és így lehetőség nyílik arra, hogy a N-műtrágyázás olyan módját javasolják, amely növeli a N-hatékonyságát. Az e témában végzett alapvető munkákról WILD és CAMERON [45] részletes áttekintést adott, ezért én az ismertetésüktől eltekintek. WILD és CAMERON azt a következtetést vonták le, hogy a kutatásban jobb együttműködésre van szükség a talajfizikusok, matematikai modellezők és szabadföldi kutatók között. Hangsúlyozták, hogy a talaj, a növények és az éghajlat sokrétű kölcsönhatása igen bonyolulttá teszi és megnehezíti e probléma vizsgálatát, de ennek ellenére mind gazdasági, mind környezetvédelmi okok indokolják a kutatások folytatását.

Denitrifikáció

A vízbőség anaerob viszonyokat eredményez a talajban, és ennek az egyik következménye a nitrátok mennyiségének csökkenése, valamint a N-oxidok (főleg N_2O) és N_2 folyamatos felszabadulása. Ilyenkor az anaerob mikroorganizmusok a nitrátokat használják fel oxigénforrásként. Jóllehet ez a folyamat már régóta ismert, a tényleges jelentőségét csak nemrég határozták meg. Korábban azt gondolták, hogy a denitrifikáció sokkal fontosabb szerepet játszik a rétetlegelő talajokban, mint a szántóföldi művelés alatt álló talajokban, mivel az előbbiek több szerves anyagot és gyökérmaradványt tartalmaznak, amelyek elősegítik az anaerob mikroorganizmusok nagyobb fokú tevékenységét. RYDEN [37] utalt arra, hogy csak az utóbbi években sikerült alaposan tanulmányozni a denitrifikációt szabadföldön. A denitrifikáció során a veszteségek nagy része N_2 -gáz formájában mutatkozik, amelyet a levegő N_2 -tartalmától nem lehet megkülönböztetni, csak akkor, ha ^{15}N -nel jelzett műtrágyákat alkalmaznak, amint azt az utóbbi időben végzett vizsgálatokban teszik. Egy másik előrelépés akkor vált lehetővé, amikor rájöttek, hogy az acetilén (C_2H_2) kis koncentrációban gátolja a N_2O mikrobiológiai redukcióját N_2 -vé a denitrifikáció során. Így a teljes denitrifikációs veszteség meghatározható, ha C_2H_2 -kezelést követően megméri a képződött N_2O -ot. A C_2H_2 redukciós módszer bárhol alkalmazható, és érzékenyebb, mint a ^{15}N indikációs módszerek.

RYDEN azt is kimutatta, hogy a denitrifikáció mértéke függ a talaj víztartalmától, nitráttartalmától és a hőmérsékletétől. Úgy találta, hogy jelentős denitrifikációs veszteség rétetlegelő esetében is csak akkor fordult elő, ha a talaj víztartalma meghaladta a 20%-ot, nitráttartalma pedig a $5 \mu\text{g/g}$ értéket, a talajhőmérséklet pedig $5-8^\circ\text{C}$ felett volt. A talaj NO_3 -tartalma a természetű növényektől, valamint a műtrágyázástól függ. Így egyazon talajon azonos adagú N-műtrágya hatására a nitrát töménysége rendszerint kisebb jól beállt rétetlegelő alatt, mint szántóföldön. RYDEN megállapította, hogy dél-angliai trágyázatlan vályogtalajon, évelő angolperje (*Lolium perenne*) alatt a denitrifikációs N-veszteség csak évi $1,6 \text{ kg N/ha}$ volt. 250 és 500 kg N/ha műtrágyával kezelt parcellákon (az ammónium-nitrátot évenként négy egyenlő adagban megosztva alkalmazták) az évi N-veszteségek a következők voltak:

Kezelés	Összes N-veszteség	N_2O -veszteség
	kg N/ha	
Kontroll (trágyázás nélkül)	1,6	—
250 kg N/ha	11,1	3,5
500 kg N/ha	29,1	8,0

A vegetációs periódus alatt mért értékeket nagyban befolyásolták a talajnedvességnek a csapadéktól függő változásai. A legnagyobb napi értéket — 2 kg N/ha — akkor mérték, amikor kora tavasszal, a műtrágya kiszórásakor 30%-os volt a talaj nedvességtartalma. Az erőteljesen növekedő fű gyorsan vesz fel nitrátot, és így minimális mind a kilúgzódási, mind a denitrifikációs N-vesztés. RYDEN [37] — Kalifornia egyik öntözött vályogtalaján kapott eredményekre hivatkozva, ahol 430 kg/ha N-adagot alkalmaztak articsókánál — hangsúlyozta a szántóföldi és rél-legelő gazdálkodás során fellépő N-vesztések különbözőségét. Az articsóka gyökérrendszere jóval kevésbé fejlett, mint a fűféléké, és a talaj nitráttartalma meghaladta a 10 µg N/g koncentrációt; az évi denitrifikációs N-vesztés 184—223 kg N/ha volt. A RYDEN által idézett két adat közötti nagy különbség azt mutatja, hogy szükséges előre felbecsülni a denitrifikáció lehetőségét olyan helyeken, ahol nagyadagú N-műtrágyázást terveznek, mivel annak alapján kiválaszthatják a legmegfelelőbb N-műtrágyát, valamint az alkalmazás legelőnyösebb idejét.

DOWDELL [13] tárgyalta a denitrifikáció során felszabaduló N_2O távozását a légkörbe. Arra a következtetésre jutott, hogy az ilyen forrásban bekövetkező N-vesztések ritkán jelentősek mezőgazdasági szempontból, ugyanakkor többféle körülmény között nagy mennyiségű N_2 -gáz szabadult fel. Kísérletei azt mutatták, hogy a denitrifikáció következtében beálló összes veszteség azonos volt a drénezett és nem drénezett parcellákon, azonban a nem drénezetteken főként N_2 -, a drénezetteken viszont nagyobb részt N_2O -gáz képződött. Ezért a teljes denitrifikációs N-vesztés megállapítása csak akkor lehetséges, ha nyomon követjük, mennyi N_2O és N_2 szabadult fel.

A denitrifikációs N-vesztéseket elkerülhetjük, ha a talajt levegőzötten tartjuk, és biztosítjuk a megfelelő drenázst. Emellett törekednünk kell arra, hogy sohasse legyen túl magas a talaj nitrátkoncentrációja. Ahol a denitrifikáció előfordulhat, hatásosabbak lehetnek az ammóniumsókat tartalmazó műtrágyák mint a nitrátok, különösen, ha nitrifikációgátlókkal együtt alkalmazzuk. E lehetőségek feltárásához még további kutatások szükségesek.

Az ammónia párolgása

Nagymennyiségű nitrogén vesz el az ammónia párolgása következtében olyan földművelési rendszerekben, ahol az állati trágya a talaj felszínére kerül. Hasonló a helyzet a hígtrágya és istállótrágya kezelése és raktározása során is. Ezek a veszteségek jelentősek, de gyakorlatilag elkerülhetetlenek a jelenlegi gazdálkodási gyakorlatban. Az utóbbi időben sok kutatás [20] irányult az összes N-vesztés becslésére. Valószínűleg az állati takarmányok összes N-tartalmának fele vesz el ilyen módon. Eddig keveset tettek e veszteségek megakadályozására, és tulajdonképpen nem is világos, milyen irányt vegyen az ezzel a témával foglalkozó kutatás.

Az ammóniavesztéseket a talajból ritkán jellemzik mennyiségileg, de jelentősek lehetnek, ha ammóniumsókat, vagy karbamidot alkalmaznak meszes talajokon. 1942-ben JEWITT [30] nagy ammóniavesztéseket tapasztalt, amikor Szudánban meszes talajokra ammónium-szulfátot adott. GARDNER [18] az 50-es években bemutatta, hogy erősen meszes angol talajokon a nitrátok kétszer hatékonyabbak, mint az ammóniumsók, főképp azért, mert az utóbbiakból jelentős volt az ammóniavesztés. Árpakisérletekben fél N-adag nátrium-nitrát formájában adagolva ugyanakkora szemtermést eredményezett, mint amikor a teljes adagot ammónium-szulfát formájában alkalmazták. A kísérletek azt mutatták, hogy a nátrium-nitrát Na-tartalma semmiféle hatást nem gyakorol az árpa termésére, az észlelt különbségek ezért teljes mértékben az eltérő N-formáknak tudhatók be.

Az ammóniavesztéseket a karbamidból manapság már jól ismerik. Az ureáz enzim hidrolizálja a karbamidot, ami a talajban ammónium-karbonát képződéséhez vezet, és azzal a veszéllyel jár, hogy amennyiben ez a folyamat a talaj felszínén, vagy a felszín közelében megy végbe, valószínű az ammónia elpárolgása a levegőbe, kivéve, ha bőséges eső vagy öntözés a

karbamidot, vagy hidrolizisének a termékeit mélyebbre mossa a talajba. Az alapvető tények ma is ugyanazok, amelyeket GASSER [19] közel húsz évvel ezelőtt tapasztalt. Sok szabadföldi kísérlet adatai azonban azt mutatták, hogy a fenti veszteségek elkerülhetők, ha a karbamidot mélyen a talaj felszíne alá juttatjuk. Bizonyos eredményeket értek el ureáz inhibitoroknak a műtrágyákhoz való adagolásával is, valamint azzal, hogy az alkalmazott karbamidgranulátumokat bevonattal látták el az oldódásuk lassítása céljából. A karbamid hatékonyságát eddig a legeredményesebben árasztott rizstermesztésnél növelték; erről később lesz szó.

Ha a karbamidot rét-legelőn alkalmazzuk, a veszteségek jelentősek lehetnek, különösen akkor, ha a granulátumokat kiszórjuk, és ezek a talaj felszínén, a gyepen, valamint az avarban visszamaradnak, mivel az ureáz aktivitása ott nagyobb, mint magában a talajban. HARPER és munkatársai [22] részletesen megvizsgálták, hogyan befolyásolja a talaj, a növény és a mikroklíma az ammóniafluxus napi, ill. szezonális változását karbamiddal műtrágyázott szubtrópusi legelőn. Nagymennyiségű ammóniavesztés mutatkozott a meleg időszakokban, és a maximumot napközben mérték. Időnként az ammónia a talaj-növény rendszer felé áramlott. A karbamid alkalmazása után bekövetkező összes ammóniavesztés a hullott csapadék mennyiségétől és eloszlásától is függött; bőséges eső feloldotta és szétterjesztette a karbamidot úgy, hogy nem alakult ki jelentős ammónia- és ammóniumion-koncentráció a karbamidrészecskék körül.

Szabadföldi kísérletek a nitrogénműtrágyák hatásfokának növelésére

Gabonakísérletek

JENKINSON [28] a N-körforgalmat a Rothamsted-i tartamkísérletekben vizsgálta. A Broadbalk-i búza tartamkísérletekben 1852—1967 között az alkalmazott évi 144 kg/ha N-adagból a szemben és a szalmában csak 32%-os N-hasznosulás mutatkozott. Mint már említettem, 1968 óta érnek el növekedő hasznosulást intenzív fajták természetével (amelyek több N-műtrágyát vesznek fel), jobb növényvédelemmel a gyomok, kártevők és betegségek ellen, továbbá korábbi őszi vetéssel. 1979—1980-ban 144 kg/ha N-adagnál a N-hasznosulás 86%-os volt. Ezek a kísérletek megmutatták, hogy a korán vetett őszi kultúrák jobban megőrzik a nitrogént, amely a növényekben telel át, ahelyett hogy a talajban maradna, kiteve a kilúgzódásnak vagy denitrifikációnak. A március-áprilisban vetett tavaszi árpa arányosan kevesebb nitrogént hasznosított, mint az őszi búza a tartamkísérletekben. Ugyanabban a két évben (1979 és 1980) a tavaszi búza 144 kg/ha műtrágya-N-ből csak 51%-ot hasznosított (szemben az őszi búza 86%-os értékével). 1980-ban 141 kg/ha N-adagnak megfelelő jelzett ammónium-nitrátot ($^{15}\text{NH}_4$ $^{15}\text{NO}_3$) alkalmaztak búzánál. A növény N-felvételét és a 0—23 cm-es talajrétegben maradt trágya-N-mennyiséget az alábbi adatok jellemzik:

Növényi rész és talaj	Talajból	Jelzett műtrágyából
	származó N, kg/ha	
Szemben	55,3	76,7
Pelyvában	2,9	3,8
Szalmában	11,2	11,7
A tarlón levő növényi maradványokban	3,4	2,4
Jelzett N aratásnál a talajban	—	24,6

Az összes ^{15}N -nel jelzett műtrágyából 22 kg N/ha „hiányzik”, ez valószínűleg a kilúgzás és denitrifikáció során veszett kárba. Évenként jelentős mennyiségű nitrogént (közel 73 kg N/ha) vont ki a talajból a növény. Feltételezhető, hogy ugyanekkora N-mennyiséget kötött le évenként a mikrobiális biomassza a növényi maradványok lebomlása során, miután a talaj összes N-tartalma gyakorlatilag állandónak (kb. 3500 kg N/ha) mutatkozott közel 100 éven keresztül.

Az ilyen munka jelentőségét mutatták JENKINSON [28] Anglia és Wales gabonatermelésére vonatkozó számításai. Az adatai szerint az 1980-as gazdasági évben 1,4 millió hektár őszi búzánál 94 000 tonna, 1,11 millió hektár tavaszi árpánál 60 000 tonna, 720 000 hektár őszi árpánál 40 000 tonna N veszett kárba. A kilúgzási veszteségek elkerülhetetlenek a jó drenázssal rendelkező, növénytakaró nélküli talajokon. Valamennyi, a közelmúltban végzett kísérlet azt bizonyította, mennyire fontos, hogy az év minél nagyobb részén aktív növénytakaró fedje a talajt, mert így a növények nitrátfelvétele minimálisra csökkenti a kimosódási veszteségeket. Az őszi vetésű növények mindig jobban felhasználják a N-készletet, mint a tavaszi vetésűek, ezért a lehetőség szerint minél korábban kell vetni.

Újabb, ^{15}N -nel jelzett műtrágyával kalászosokon végzett kísérletek azt mutatják, hogy ha szakszerűen, gondosan határozzuk meg a N-műtrágyák szükséges mennyiségét, valamint az alkalmazásuk idejét, nagyon kevés N-vesztéssel kell számolnunk. A N-vesztés jelentős része a talajban — a szerves anyagban és a növényi maradványokban levő nitrogén mineralizációja miatt — következik be. Ezek a kutatások azt is bebizonyították, hogy a műtrágya-N tekintélyes része immobilizálódik a talaj szerves anyagaiban.

A Letcombe Laboratórium vizsgálta az őszi búzánál alkalmazott N-műtrágyák sorsát mind szabadföldi, mind liziméteres kísérletekben. Az alábbi, eddig még nem publikált, 1975 és 1981 között kapott adatokat CANNELL [6] bocsátotta a rendelkezésemre. A növények 140 kg/ha N-adagot kaptak és ennek a sorsa a következőképpen alakult:

	A műtrágya-N %-ában
növények N-felvétele	54—72
lekötve a talaj szerves anyagaiban	8—15
denitrifikációs veszteség	2—18
kilúgzódási veszteség	2— 8

Az évenként kapott értékek nagymértékben függtek az időjárástól és a talajtípustól. E munka részletesebb értelmezése során a Letcombe Laboratóriumban DOWDELL [13] kimutatta, hogy amíg a kísérletsorozatban a növények által ténylegesen felvett trágya- ^{15}N 39 és 68% között változott, a N látszólagos hasznosulása ugyanezekben a kísérletekben 51 és 111% között mozgott. Ez a nagy különbség hangsúlyozza, hogy a talajban végbemenő mineralizációs folyamatok milyen számottevően járulnak hozzá az összes N-készlethez. Míg egy kísérletsorozatban a kimosódás okozta N-vesztés évenként 15—105 kg N/ha között volt, a kilúgzott műtrágya-N csak az alkalmazott mennyiségek 1—7%-át tette ki.

Gyepkísérletek

Általánosan elismert tény, hogy a nitrátok kimosódási veszteségei gyepek alatt sokkal kisebbek, mint szántóföldön. A műtrágya-N „látszólagos hasznosulása” gyakran 70%, vagy még több, tehát jóval nagyobb, mint a szántóföldi művelésben alkalmazott N-műtrágyák esetében, ahol 50%-os vagy még kisebb értékeket kapunk. JENKINSON és munkatársai [29] kimutatták, hogy a nitrogén — hamarosan azután, hogy gyepterületen alkalmazták — lekötődik a talajban és a gyökerekben, és sok évig tarthat, amíg ismét mineralizálódik. Így ^{15}N -nel jelzett műtrágyával kezelték egy nagyon régi gyepterületet a rothamstedi Park Grass kísérletben 1980-ban. A gyepek összes N-felvétele abban az évben 145 kg/ha volt, melynek 36%-a származott az

1980-ban alkalmazott N-műtrágyából, 64%-a pedig abból a nem jelzett nitrogénből, amely eredetileg is a talajban volt. A trágyázás után két évvel a jelzett nitrogén 60%-át hasznosította a gyepnövényzet, és 30%-a maradt a talajban meg a gyökerekben, és csak 10%-áról nem tudunk számot adni. DOWDELL [13] azt találta, hogy egy angolperje-kísérletben 104 kg N/ha — az alkalmazott műtrágya-N 26,7%-a — lekötődött a talajban, és ennek a mennyiségnek kb. 80%-a a feltalaj 20 cm vastag rétegében volt kimutatható. A lekötött nitrogénnek csak igen kis hányada (az adott műtrágya-N-nek 0,5—9,0%-a) szabadul fel évenként.

Árasztott talajokon végzett rizskísérletek eredményei

A rizs teszi ki a világ gabonatermesztésének több mint a negyedét. Ennek nagy része elárasztott területen terem, ahol a növekedést nem akadályozza vízhiány, és mindenképpen indokolt, hogy intenzív technológiát alkalmazzanak, ami a Nemzetközi Rizskutató Intézet (IRRI) és más intézetek által nemesített, nagyhozamú, műtrágyázást és egyéb befektetéseket igénylő fajták termesztésével jár. A rizstermesztésben rejlő lehetőségeket bemutatta a Nemzetközi Rizskutató Intézet: egy év alatt 25 t rizst takarítottak be egy hektárról azáltal, hogy négy termést sikerült beérlelniük, egyenként 90 nap alatt. A jó rizstermés biztosításához nagy N-adagok szükségesek; bárhol termesztik is ezt a növényt, rendkívül fontos az alkalmazott N minél nagyobb mértékű hasznosulása, ezért az ezzel kapcsolatos problémák megoldására irányuló, intenzív kutatómunka teljesen indokolt.

A legtöbb országban, ahol a rizst nagy területen termesztik, jelenleg a karbamid a fő N-forrás. Általában a karbamidot vetés, ill. palántázás előtt kiszórják a talajra, vagy az árasztóvízbe adagolják. A legtöbb kísérlet azt mutatja, hogy ilyen körülmények között a növény az alkalmazott N-mennyiségnek legfeljebb 25—35%-át veszi fel. DE DATTA és munkatársai [11] ismertették azokat a közelmúltban végzett vizsgálatokat, amelyeket az ilyen nagy veszteségek elkerülésére folytattak. A Nemzetközi Rizskutató Intézet a Fülöp-szigeteken fontos tevékenységet fejtett ki, együttműködve az alabamai (USA) Nemzetközi Műtrágyázási Fejlesztési Központtal (IFDC), valamint más szervezetekkel. Megállapították, hogy az ammónia elpárolgása az alkalmazott N-mennyiség 60%-ának elvesztését is eredményezheti. Ez annak a következménye, hogy az árasztóvíz pH-ja napközben lúgosabbá válik, és a karbamid hidrolízise során keletkező ammónium-karbonátból ammónia szabadul fel. A kiszórt, és a feltalajba kevert karbamid valószínűleg feloldódik a talaj felszínén lévő vízben, ahol ugyanaz lesz a sorsa — hidrolizálódik és ammóniát veszít — mint a későbbi fejtrágyázások során az árasztóvízbe kiszórt műtrágyának. Úgy tűnik, a denitrifikáció nem játszik nagy szerepet a rizs trágyázására használt ammóniumsók vagy karbamid ammóniavesztésében; valószínűleg legfeljebb az alkalmazott nitrogén 10%-a vész kárba ilyen úton. A talajok olyan zónáiban, ahol az oxidáció dominál, nitrátok keletkeznek, és laza szerkezetű talajokból kimosódhatnak, de nehezebb talajokon ez aligha okoz számottevő veszteséget.

Számos módszert próbáltak ki a nitrogén hatékonyságának növelésére. Ha az adagot megosztották, és egy részét később, a növények maximális tápanyagfelvétele idején adták, jobb termést kaptak, mint az egyszeri, korai alkalmazás esetén. Olyan műtrágyák használata, amelyekből a szervesetlen nitrogén lassabban szabadul fel, szintén növeli a hatékonyságot. Ilyen anyag az izobutilidén-dikarbamid (IBDU) és a kénnel bevont karbamid (SCU). Indiai kísérletekben eredményt értek el a műtrágyához adott, nitrifikációt gátló anyagokkal: Nitrapyrinnel (N-servé), illetve egy indiai fafajta (*Melia Azodarach*) anyagából készített pogácsákkal. A legkedvezőbb hatást azonban következetesen a „szupergranulátum” vagy brikett alakban alkalmazott karbamiddal érték el, ha a talajfelszín alá, a reduktív rétegbe helyezték, úgy, hogy a hidrolízis keletkező ammóniumionok nem érthették el az árasztóvizet. A szupergranulátumok súlya 1—3 g között változhat. Kénnel bevont formában még eredményesebbek. Azokban a kísérletekben, amelyekben mélyre helyezésük hatását vizsgálták, a felhasznált N 80%-a érvényesült. Az IFDC és IRRI [24] közös kísérleteinek adatait a 2.

tablázatban közöljük, ezek igazolják a mély bevitel eredményességét. A korábbi kísérletekben a granulátumokat kézzel helyezték a talajba; jelenleg gépeket fejlesztenek ki erre a célra, hogy az eljárást nagyobb területeken is alkalmazhassák. Napjainkban sikerrel biztató kutatás folyik a lassan ható anyagokkal és különféle alkalmazási módszerekkel kapcsolatban. Ezeket a lehetőségeket tárgyalják DE DATTA és munkatársai [11].

A szupergranulátumok mély alkalmazása nehézségekbe ütközhet ott, ahol teljesen gépesített rizstermesztés folyik nagy területen. Ráadásul a megosztott N-trágyázás előnyös, ha

2. táblázat

Különböző karbamidformák és kijuttatási módok hatása a rizs termésére és a N hasznosulására [24]

Kezelés	Száras időszak (87 kg N/ha)		Nedves időszak (54 kg N/ha)	
	szemtermés t/ha	N-hasznosulás, %	szemtermés t/ha	N-hasznosulás, %
Kontroll	4,1	—	3,1	—
Megosztva adott karbamid	5,7	44	4,0	35
Kénbevonatú karbamid	5,8	46	4,9	78
Mélyre helyezett szupergranulátum karbamid	6,2	75	5,1	85

az adag egy részét a vegetációs időszak közepén alkalmazzák, pl. a virágzás kezdetekor. Emiatt indokolt, hogy más eljárásokat is tekintetbe vegyünk az ammóniaveszteségek csökkentésére. Ígéretes módszer az inhibitorok felhasználása, amelyek késleltetik a karbamidnak az ureáz által történő hidrolízisét. Több ilyen anyagot próbáltak már ki: közülük eredményesnek látszik a hidrazin-fenil-foszfát (PPD: phenyl phosphorodiamidate). BYRNES és munkatársai [5] vizsgálták ezt az anyagot; a kísérletek egyik részében a karbamidot a talaj felső rétegébe keverték, a másik részében az adagot megosztották, felét a talajra szórták palántázás előtt, a másik felét 30 nappal később fejtrágyának adták. ¹⁵N-jelzett karbamidot alkalmaztak, s ez lehetővé tette a N-hasznosulás pontos meghatározását. A párolgás következtében előálló veszteségek 31%-ról 4–5%-ra csökkentek, ha PPD-t adtak a karbamidhoz. Ez az ureáz-gátló nagyban növelte a karbamid hatékonyságát, bármilyen módon alkalmazták is. Ha a karbamidot túl korán szórták ki, sok nitrogént vettek fel belőle az ársztóvízben élő algák is, s így a N-tápanyag megkötődött. A hatékonyságot legjobban a megosztott adag második fele növelte, amikor a karbamidot fejtrágyaként adták bokrosodáskor. Ha a karbamidot PPD-vel együtt alkalmazták, egyáltalán nem volt N-vesztés, aratáskor a felhasznált N-hatóanyag kétharmadát a növényekben mutatták ki, egyharmada pedig a talajban maradt. PPD nélkül a N-nek csak 41%-át hasznosították a növények és 36%-a maradt a talajban. Bokrosodáskor a rizs gyökerei nagyon gyorsan képesek abszorbeálni a nitrogént, és a hidrolízist gátló anyag elősegítette, hogy a növényi gyökerek „megelőzzék” mind a párolgási, mind az algák által előidézett immobilizációs N-veszteségeket. Ezek a kísérletek potenciálisan nagyon fontosak, mert valószínű, hogy számos gazdálkodó a jövőben is közvetlenül adja a karbamidot az ársztóvízbe, mert a megosztott alkalmazás — amikor a N-műtrágya egy részét bokrosodáskor vagy a virágzás kezdetén juttatják ki — nagyobb terméshozamokat eredményez, mint amikor az egészet egy adagban szórták ki palántázás előtt. Megállapították továbbá, hogy már 1% vagy még annál kevesebb PPD is hatásos lehet.

Kielégítőek azok az eredmények, amelyeket eddig elértek a karbamid hatásának növelésére a rizstermesztésben, de ennek ellenére még sok a tennivaló. DE DATTA és munkatársai

[11] megállapították, hogy ha a karbamid-szupergranulátumokat mélyre helyezték, az adagolt N-mennyiség 65%-a a betakarított növényekben volt, 31%-a a talajban maradt, és csak 4% sorsa ismeretlen. További kutatásokat igényel, hogy mi lesz a későbbi évek során a talajban maradt és az algákban immobilizált N trágyaértéke.

A nitrogénműtrágya-igények becslése

A N-műtrágyák eredményes alkalmazásának első alapfeltétele, hogy az adott N-mennyiség kiegészítse a talaj tápanyagkészletét, hogy az összes felvehető mennyiség pontosan egyezzen a növények igényével. A talaj N-készletét pontosan fel kell becsülni, bár ez nehéz feladat. A talajban lévő ásványi nitrogén mennyisége a vegetáció kezdetén, tavasszal mérhető, ha megmintázzuk és elemezzük a talajszelvényt a gyökérszóna mélységéig. Ez fáradságos eljárás, de célszerű. A vegetációs időszak során további mennyiségek szabadulnak fel a talaj N-tartalmából a mineralizáció révén, azonban nehéz ezeket előre meghatározni laboratóriumi módszerekkel, mert a ténylegesen felszabaduló mennyiség a csapadéktól és hőmérséklettől függ, márpedig azokat nem tudjuk előre pontosan megjósolni.

Ezeket a problémákat a búzatermesztés kapcsán tárgyalták a Trágyázási Egyesület Szimpóziúmán [16]: megvitatták a Német Szövetségi Köztársaságban, Franciaországban, a Benelux Államokban és az Egyesült Királyságban jelenleg folyó kutatásokat, és az elért eredmények gyakorlati alkalmazását. Hangsúlyozták, hogy a N-műtrágyázás rendszerét a helyi viszonyoknak megfelelően kell kialakítani, tekintetbe véve az időjárást, a talajviszonyokat és különösen a gazdálkodás rendszerét: a vetésforgót, a művelési módot, a termesztett fajtákat és az olyan mezőgazdasági tényezőket, mint a vetésidő, növényművelés, növényvédelem stb.

Ezen a Szimpóziúm BECKER és AUFHAMMER [1] ismertették azokat a különböző módszereket, amelyekkel előre jelezhető az őszeletett búza tavaszi N-igénye. Az NSzK-ban nagyon elterjedt az ún. „N_{min}-rendszer”, amelyet jelenleg más országokban is kipróbálnak. Ez abból áll, hogy meghatározzák az ásványi nitrogén mennyiségét a talaj gyökérszónájában (általában 900 mm), ez a N_{min}. Ezután annyi N-műtrágyát alkalmaznak, hogy a N_{min} + N_{műtr.} összege = 120 kg N/ha legyen. E tavaszi fejtrágyázás után az NSzK-ban az őszi búza 20–30 kg/ha N-t kap a szárképződés idején, és további 50–60 kg/ha N-t kalászolásakor. A vegetációs időszak későbbi szakaszában szükséges, optimális N-adagokról felvilágosítást nyerhetünk, ha búzamintát veszünk, és a sejtnedvben meghatározzuk a NO₃-N-t. Mielőtt azonban a vizsgálati eredményekből gyakorlati következtetést vonunk le, figyelembe kell venni az előző évben termesztett növényt és a talajtermékenység paramétereit is.

REMY és VIAUX [35] a jelenlegi franciászéki kutatásokról és gyakorlatról számoltak be. A francia szakemberek szerint a javasolt műtrágyázás több tényező függvénye. Számításba veszik a várható termést, a tél végén meghatározott N_{min}-mennyiséget, a talaj szerves anyagából, növényi maradványokból és esetleges szerves trágyából mineralizálódó N valószínű mennyiségét, végül pedig az alkalmazásra kerülő N-műtrágyák várható hatékonyságát. DILZ és munkatársai [12] a Hollandiában és Belgiumban folyó hasonló munkákról adtak számot. E két országban a talaj ásványi-N-tartalmának ismeretét tartják nagyon fontosnak. Ugyancsak javasolják helyi „referencia-parcellák” használatát, amelyeken különböző adagú N-műtrágyát alkalmaznak a megfelelő jelzőnövényekkel, és ahol a talaj ásványi-N-tartalmát is rendszeresen ellenőrzik, mert ez támpontot biztosíthat a szaktanácsadáshoz. DILZ és munkatársai azt remélik, hogy a fejlődés során egyszerű modellek készülnek majd az ásványi nitrogén talajban való mozgásának és átalakulásának a leírására, és ezáltal lehetővé válik a szaktanácsok módosítása a tenyésztési folyamán. A modellezéskor tekintetbe kell venni a talaj nedvességállapotát, az időjárási adatokat és a növények szárazanyagképzésének, valamint gyökérfejlődésének alakulását. NEEDHAM [33] úgy véli, hogy az Egyesült Királyságban a gabonafélék N-igényének becslésére szolgáló jelenlegi empirikus módszereket pontosabb matematikai módszerekkel kell felváltani.

Ilyen módszerek akkor alakíthatók ki, ha megfelelő kísérleti bázis áll rendelkezésre az új kultúr- és műtrágyarendszerek kifejlesztésére és kipróbálására.

FRISSEL és VAN VEEN [17] összefoglalta azokat a nagy eredményeket, amelyeket világszerte az utóbbi tíz év során a talajban végbemenő N-átalakulások modellezésében elértek. GREENWOOD [21] ismertette, hogyan modellezhető a terméshozamok alakulása a N-műtrágyázás hatására. Kialakított egy dinamikus modellt, amely lehetővé teszi a növényi N-felvétel napról-napra való alakulásának becslését szántóföldi körülmények között. GREENWOOD véleménye szerint az Egyesült Királyságban alapvetően azért bizonytalan a növények N-műtrágya-igényének az előrejelzése, mert nem veszik figyelembe az altalaj, a gyökérszóna nitráttartalmának mennyiségi változásait.

A földművelési rendszereknek és gyakorlatnak megfelelő nitrogénfelhasználás

A különböző növények különböző mértékben használják fel mind a műtrágya-N-t, mind pedig a talaj N-készleteit. A vetésforgó és a műtrágyaadagok gondos megválasztásával sokat tehetünk a műtrágya-hatékonyság növelése, és a környezetszennyező nitrátvesztesség csökkentése érdekében. HILLS és munkatársai [23] jó példát mutattak be arra, hogy milyen hasznos, ha megvizsgáljuk a különböző növények eltérő igényeit, és azt, hogy milyen mértékben képesek a talaj N-készletének hasznosítására. Kimutatták, hogy azonos talajon termesztett kukoricának és cukorrépának a betakarításakor kb. azonos volt az összes N-tartalma. Míg azonban a cukorrépa ennek a 85%-át vette fel a talajból, a kukorica mindössze 50%-át (a többi nitrogént a növények ^{15}N -nel jelzett műtrágyából vették fel). A különböző növények talajból történő N-felvételében megmutatózó különbségek a gyökérrendszerük jellegétől függenek, továbbá attól, hogy milyen a viszony a növekedési szakasz és ütem, valamint a talaj N-készletéből felszabaduló nitrátmennyiség között. A kukorica gyorsan nő, és rövidebb időszakokban több nitrogént igényel, mint a cukorrépa, ami lassabban növekszik hosszabb időn át. A fenti szerzők szerint a műtrágya-felhasználás hatékonysága javítható, ha a vetésforgóban akkor termesztünk kukoricát, ha a talaj ásványi-N-készlete alacsony, és akkor cukorrépát, amikor magas. Azt állítják, hogy „különösen a cukorrépát sajátos 'N-gyűjtőnek' használhatjuk a potenciális nitrátszennyeződés csökkentésére”. Ha talajvizsgálatok útján jellemezzük az egyes növények műtrágya-N igényét, a kapott adatok értelmezésénél figyelembe kell venni a különböző növények sajátosságait.

A nitrogén nagy hatékonyságát biztosító feltételek összefoglalása

A jelenlegi átlagos gazdálkodási módszerek nem biztosítják a N-műtrágyák hatékony felhasználását, valószínűleg az alkalmazott nitrogénnek legfeljebb a felét veszik fel végül is a növények. A maradék kárba vész, komoly veszteséget okozva mind a gazdálkodóknak, mind az országoknak. Remélhetőleg nagyobb hatékonyság érhető el modern technológiák bevezetésével, amelyeket a közelmúltban folytatott kutatások eredményei alapján dolgoznak majd ki, és amelyek főbb jellemzői a következők lesznek:

1. Intenzív növényfajták termesztése; ezeket más tápanyagokkal is el kell látni, szükség esetén öntözni, és megvédeni a kártevőktől, gyomoktól és betegségektől.
2. Minimálisra kell csökkenteni a kimosódási veszteségeket; a talaj felszínét borítsák növények az év minél hosszabb szakaszán, hogy a műtrágyákból származó és a mineralizáció során képződő összes nitrátot felvehessék a gyökerek.
3. Az adott műtrágya-N mennyisége és alkalmazási ideje összhangban legyen a növény igényeivel. Az adatokat és az alkalmazás időpontját a következő információk alapján kell megállapítani: *a)* a terület termesztési előzményei, *b)* az ásványi nitrogén meghatározása a talajszelvényben, *c)* a nitrát meghatározása a növényben a fejlődés során.

4. A műtrágya-N fajtáját a növénynek és a talajnak megfelelően kell megállapítani. Ammónium vagy amid formájú műtrágyát nem szabad meszes talajok felszínére kiszórni. Nitrátokat ne használjunk árasztott talajokon, vagy olyanokon, amelyek az év egyes szakaszaiban vízzel borítottak.

5. Bizonyos esetekben a N-műtrágyákat mélyen kell bevinni a talajba, a gyökérszónába, hogy az ammónia párolgási veszteségét elkerüljük. Ez különösen karbamid alkalmazásánál fontos.

6. Amikor szükséges, olyan műtrágyákat kell használni, amelyeket az ammónium-N nitrifikációját, vagy a karbamid hidrolízisét gátló anyagokkal kezeltek. Hosszú tenyészidejű növények esetében megfontolandó késleltetett oldódású, bevont műtrágyák alkalmazása.

A foszfátműtrágyák hatásos alkalmazása

A vízben oldódó foszfátműtrágyák gyorsan reagálnak a talaj alkotórészeivel, és olyan komplex vegyületeket alkotnak, amelyek csak kis mértékben oldódnak a talaj folyadékfázisában. Ezek a reakciók (amelyeket WHITE [44] foglalt össze), lehetetlenné teszik, hogy az alkalmazás első évében az adott P-műtrágyák kb. negyötöd részét felvegye a növény. A foszfátok megkötődésének az az előnye, hogy nincs kimosódási veszteség. A terméssel kivont P-mennyiségen kívül kizárólag az erózió okozhat P-veszteséget. A talajrészecskék és foszfátok reakciótermékeinek olyan csekély az oldhatósága, hogy a növényi igényt nem elégítheti ki a gyökérszónát át felvett, vízben oldódott foszfátok mennyisége, ezért az a vélemény alakult ki, hogy a gyökerek P-felvételeiben nagy szerepet játszanak a diffúziós folyamatok. Az utóbbi 30 év kutatásainak legfontosabb eredménye, hogy bebizonyították, a P-műtrágyák maradványai hosszú időn keresztül hasznosak lehetnek a növények számára. JOHNSTON és POULTON [31] ismertette a legmeglepőbb eredményt: a Rothamstedben 1852—1901 között alkalmazott P-műtrágyák hatása (1901 óta teljesen megszüntették a P-műtrágyázást) az 1970-es években még mindig megmutatkozott, és a soha nem P-műtrágyázott kontrollparcellák terméséhez képest kétszeres árpahozamot eredményezett. Úgy vélik, hogy végeredményben az összes műtrágya-P-t felveszik a növények, jóllehet a folyamat lassú, és természetesen a gazdálkodó nem tudja befolyásolni. A Rothamstedben végzett tartamkísérletek egy további fontos eredményhez vezettek: a kutatók megállapították, hogy olyan talajon, amely rendszeres P-műtrágyázás során a benne maradó P révén P-gazdag lett, gyakran nagyobb a termés, mintha P-szegény talajhoz bármilyen nagy adagú friss foszfort adnak [7, 32].

A P-műtrágyákat a fentiek figyelembevételével kell alkalmazni. A foszfátban nagyon szegény talajokon meg kell kísérlni, hogy a költséges, feldolgozott P- készítményekkel már az első évben maximális hatást érjünk el. A vízben oldható és citrátoldható foszfátoktól akkor várhatunk maximális hatékonyságot, ha az adagokat a magok vagy a gyökerek közelébe helyezzük (még így sem valószínű, hogy az alkalmazott P 20%-ánál többet vegyenek fel a növények). A talajok P-feltöltésének költségei a fejlődő országokban csökkenthetők a helyi nyersfoszfátok felhasználásával. Ezek reakcióba lépnek a fejlődő országokban gyakori savanyú talajokkal, és így hatásos P-források lehetnek. Egy másik jelentős eredmény, hogy nagyobb mértékben alkalmazzák a részleges savas feltárást, és így kevesebb kénsavra van szükség, mint a közönséges szuperfoszfát készítéséhez. A Nemzetközi Műtrágyázási Fejlesztési Központ [25] fontos munkát végzett, hogy elősegítse a nyersfoszfátok közvetlen vagy részleges savas feltárást utáni alkalmazását a fejlődő országokban.

Ahogy a mezőgazdaság egyre belterjesebb lesz, a befektetések — beleértve a P-műtrágyázást is — révén, egyre emelkedik a talajok P-készlete is, és a gazdaságos tápanyagellátás problémái mindenütt azonossá válnak. A P-műtrágyázást úgy kell szabályozni, hogy elegendő mennyiséget jutassunk a talajba a foszfát kémiai potenciáljának fenntartásához.

illetve a talajodat P-koncentrációjának a megfelelő szinten tartásához, hogy a természetett növények elegendő P-t vehessenek fel, és így az adott helyen elérhető maximális termést kapjuk. A talajnak és a természetett növény(ek)nek legmegfelelőbb műtrágyaformát kell választani; talajokon, melyek pH-értéke kevesebb mint 6, jó minőségű nyersfoszfát is hozhat olyan eredményt, mint valamelyik sokkal drágább P-készítmény. A talajban fenn kell tartani az oldható foszfátok megfelelő szintjét a természetett növény(ek) figyelembevételével, és ez rendszeres mintavételezéssel és talajelemzéssel jár. A talajelemzési módszerek közül szintén a legmegfelelőbbet kell kiválasztani: sok területen a 0,5M nátrium-hidrokarbonát-oldatban való oldhatóság meghatározása a legjobb módszer. Kívánatos, hogy a bevitt P-mennyiség, a növényi P-felvétel és a talaj oldható P-tartalma közötti kapcsolatokat tartamkísérletekben kísérjük figyelemmel [8].

A mikorrhiza gombák szerepe a foszforfelvételben

Az utolsó néhány év egyik jelentős fejleménye volt, hogy tisztázták, mi módon segítik elő a mikorrhizák a foszfátok és más tápanyagok felvételét. TINKER, aki figyelemre méltó tevékenységet fejtett ki ezen a területen, ismertette a témát [40]. A gombafonalak kiterjesztik a gyökér hatáskörzetét: adszorbeálják a foszfátot, amit a gyökerek, ill. gyökérszőrök nem érnek el, és az a gombafonalakon át jut el a növény gyökérzetéhez. Arra is van bizonyíték, hogy ezek a gombák olyan foszfátokat is oldhatóvá tesznek, amelyeket a növényi gyökérzet egyébként nem tudna felvenni.

Rothamstedben őszi és tavaszi búzával valamint árpával végzett kísérletek [4] azt mutatták, hogyan növelte a hozamokat a mikorrhiza-oltás, amikor a gombát olyan talajhoz adták, amelyet előzőleg sterilizáltak a természetes infekció megszüntetése céljából. Nagyon fontos megfigyelés volt, hogy az oltás azokon a parcellákon bizonyult különösen hatásosnak, amelyek előzőleg P-műtrágyát kaptak. Ez azt jelzi, hogy a mikorrhiza gombák növelik a műtrágya-P felvételét, s egyszersmind elősegítik a talaj-P nagyobb mértékű felhasználását is. A kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy kalászosoknál az oltással valamennyi P-szinten jelentős termésnövekedés érhető el, különösen olyan talajokon, amelyekben a mikorrhiza-előfordulás csekély. (Az oltás a termést 25%-kal növelte 28 mg/kg NaHCO₃-oldható P-tartalommal rendelkező, tehát foszfátban gazdag talajon.) Ezek a kísérletek világosan mutatták, hogy a természetes mikorrhiza-előfordulás elősegíti a hatékonyabb P-felhasználást mind az őszi, mind a tavaszi búzánál és árpánál. Ahol a természetes mikorrhiza-előfordulás mértéke nem kielégítő, a megfelelő oltóanyag alkalmazása termésnövekedést eredményez.

A káliumműtrágyák hatásos alkalmazása

A kálium szintén viszonylag kevésbé mozgékony tápanyag amikor a kation-adszorpciós komplexumban kicserélhető formában megkötődik, ennek ellenére a növények jóval nagyobb részét veszik fel a kapott K-adagnak, mint a foszfornak. Hacsak nem túlzott mennyiségben juttatják ki, a K-műtrágyák nem mosódnak ki a nagy kation-kicserélődési kapacitású talajokból. Emellett a kálium a 2:1 típusú agyagásványok kristályrácsának síkjai között is megkötődhet; ez a mechanizmus biztosítja a mérsékelt égövi talajok jelentős részénél a K-felesleg megkötődését. A megkötődött kálium lassan szabadná válhat, és későbbi növények felvehetik, de ezt a folyamatot a gazdálkodó nem tudja irányítani (kivéve, ha minden más, a termést biztosító tényező adott, mert akkor a lekötött kálium is maximálisan érvényesül). Egyes növények — pl. a fűfélék — nagyobb mértékben képesek a lekötött káliumot hasznosítani, mint mások.

JOHNSTON és POULTON [31] kimutatták, hogyan halmozódott fel az 1852—1901 között kijuttatott szerves-trágya- és műtrágyaadagokból a visszamaradt kálium a rothamstedi

„Exhaustion Land” kísérlet talajaiban. Ezek a maradványok még 70 évvel az utolsó adag alkalmazása után is hatottak, és 1970—1975 között az árpatermést 0,5 t/ha-ral emelték. Úgy tűnik, hogy — a foszfátokhoz hasonlóan — az egész alkalmazott K-mennyiség, akár műtrágyaként, akár szerves trágyában jutott a talajba, előbb-utóbb felvehetővé válik a növények számára. Azt is megfigyelték, hogy ugyanúgy, mint a foszfátok esetében, olyan talajokon, ahol a K-műtrágyák utóhatása érvényesült, gyakran nagyobb terméseket kaptak, mint bármilyen nagy adagú friss K-műtrágyával [7, 32].

Nedves övezetekben, kis kationkicsérelő kapacitású homoktalajokból a kálium kimosódhat. Ez a veszély különösen jelentős olyan trópusi talajok esetében, amelyek nem tartalmaznak 2:1 típusú agyagásványokat, és ezért nincs lehetőségük a K-tartalékoknak hosszú időn át való visszatartására. A trópusi talajok K-forgalmának problémáit alaposan tanulmányozták [26, 27]. Elefántcsontparti kísérletek [26] azt mutatták, hogy adott területen, ahol olyan növényeket termesztettek, amelyek gyökérzete átszővi a talajt, és ahol a drénviz évi mennyisége eléri a 800 mm-t, ha a nagyadagú K-műtrágyákat a növények szükségletének megfelelően megosztva alkalmazzák, az évi K-vesztés a felhasznált hatóanyagoknak legfeljebb 1%-a. Az Elefántcsontparton a K-vesztés kockázata nagyobb olyan növényeknél, amelyek gyökérrendszere nem szövi át a talajt, mert ezek nem tudják teljes mértékben hasznosítani a talaj tápanyagkészletét. Az egyik idézett példa a banán volt, ami sok káliumot vesz fel; a kísérletekben a növénynek nagyadagú műtrágyázásra volt szüksége, de rossz hatásokkal hasznosította a műtrágyát, bizonyos esetekben a veszteség az adott mennyiség 50%-át is elérte.

Jelenleg a fejlődő országokban aránylag kevés K-műtrágyát alkalmaznak (I. táblázat). Ahogy ezekben az országokban a mezőgazdaság intenzívebbé válik, a talaj alacsony K-tartalma gátat fog szabni a termések növekedésének. Pl. Roy és munkatársai [36] beszámoltak arról, hogy amint Indiában bevezették az intenzív növényfajtákat, és nőtt a termelés belterjessége, a K-műtrágyázás hatása olyan területeken is megmutatkozott, ahol a hagyományos gazdálkodásban nem volt rá szükség. Ahogy a K-műtrágyák iránti igény növekszik ezekben az országokban, meg kell majd vizsgálni, hogy melyik K-formák a leghatásosabbak, és milyen alkalmazási módszerek, továbbá milyen kiszórási idők biztosítják a teljes alkalmazott mennyiség érvényesülését.

A fejlett országokban folyó intenzív gazdálkodás sajátossága, hogy a nagy termések nagyon nagy mennyiségű káliumot igényelnek, pl. a gabonáknak virágzáskor annyi káliumot kell tartalmazniuk, mint nitrogént [bár ennek a káliumnak nagy része az aratás idejére visszakerül a talajba, részben kilúgzással, részben a szervesanyag-maradványokkal (lehullott levelek stb.)]. Jó hatékonyságot úgy biztosíthatunk, ha talajelemzésekkel meghatározzuk a kicserélhető káliumot, és a tartamkísérletek eredményei alapján megállapítjuk azt a K-mennyiséget, amelynek a kijuttatásával a kicserélhető K-ot a természetett növény által igényelt szinten tartjuk [8]. A túladagolást el kell kerülni, mert ez túlzott (luxus) K-felvételhez vezet: a növény K-tartalma növekszik anélkül, hogy a termése is emelkedne. Semmi ok sincs arra, hogy a jövőben a K-műtrágyákat ne teljes hatékonysággal használjuk, feltéve, ha a viszonylag egyszerű, de szükséges tartamkísérleteket tovább folytatjuk, és eredményeiket a gyakorlatban alkalmazzuk.

Más trágyázási kérdések

„A műtrágya” kifejezés alatt rendszerint nitrogént, foszfort és káliumot értünk. Gyakorlatilag azonban minden olyan tápanyag hozzáadása a talajhoz, amely hiányt pótol, trágyázásnak tekintendő. Ezek közé tartozik a másik három fő tápanyag, a kalcium, a magnézium és a kén is, a hét mikro- (nyom-) elemmel együtt.

Kalcium és magnézium

Ez a két kation semlegesíti a talaj savas kémhatását és nedves övezetekben mindkettő kilúgzódik. A meszezés talajsavanyúság semlegesítő hatása elhomályosítja a kalciumnak, mint növényi tápanyagnak a szerepét. Általában a meszező anyagokat akkor alkalmazzuk hatékonyan, ha csak annyit használunk fel belőlük, amennyi éppen elegendő bizonyos savasság semlegesítésére és a talaj megfelelő kémhatásának fenntartására, azaz a kimosódás miatt úgyszólván hatástalanná váló túladagolást elkerüljük. Azokban a fejlődő országokban, ahol az altalaj erősen savas, egy fontos probléma vár megoldásra: a gyökérrendszer itt közvetlenül ki van téve az alumínium toxikus hatásának, ezért a növények sem a tápanyagot, sem a nedvességet nem képesek felvenni az altalajból. Ezt a savas kémhatást csak extra Ca-adaggal lehet semlegesíteni, ami lemosódik a szelvényben; a meszező anyagokat mechanikusan is beledolgozhatjuk a talajba. További kutatómunka szükséges olyan módszerek kifejlesztésére, amelyek lehetővé teszik, hogy hatékonyan használjuk fel a meszező anyagokat az altalaj-savanyúság semlegesítésére. Ugyancsak kívánatos a gyökérréteg savas kémhatásra való érzékenységeinek további vizsgálata is. A növénynevelítők másik oldalról közelítenek a probléma megoldásához: a savas talaj-pH-ra kevésbé érzékeny fajtákat tenyésztene ki.

A savanyú talajok Mg-hiánya könnyen megszüntethető dolomitos mészke, vagy pedig MgO-, ill. Mg-tartalmú trágyák segítségével. Az adagokat a talajelemzések alapján kell megállapítani, gondosan elkerülve a túladagolást, ami kimosódási veszteségekhez vezetne.

Kén

Ennek a fontos tápanyagnak a hiánya valószínűleg mindinkább általánossá válik, mivel a jelenleg használt műtrágyák közül egyre kevesebb biztosít S-ellátást. Korábban a közönséges szuperfoszfáttal és ammónium-szulfáttal a talajba juttatott S-mennyiség meghaladta a növények igényeit. A hiány veszélyét az is súlyosbítja, hogy erősödik a küzdelem a savas esőket okozó S-emissziók csökkentéséért. Jelenleg a legtöbb fejlett ipari országban a légkörből a talajra kerülő kén jóval felülmúlja a növények szükségletét, kivéve az ipari és városi központoktól távoli vidékeken. A növekedő terméshozamok szintén növelik a S-hiány kockázatát a kénrel kevésbé ellátott területeken. A közelmúltban Írországban [3] és Észak-Kelet Skóciában [38] állapították meg S-hiányt, és vizsgálták, hogyan reagálnak a növények S-műtrágyákra. Széles körű S-hiány tapasztalható a fejlődő országokban, és a jövőben, a mezőgazdasági termelés intenzívebbé válásával egyre inkább korlátozó tényezővé válik. BLAIR és munkatársai [2] indonéziai példán mutatják ezt be.

A kén körforgalmának jobb megismerése szükséges azokon a területeken, ahol a hiánytünetek jelentkezése valószínű. Meg kell mérni az eső és szél révén lerakódott S-mennyiséget, a talajok teljes kénkészletét és meg kell határozni, hogy milyen mértékben mineralizálják a mikroorganizmusok. Össze kell hasonlítani a különböző S-műtrágyákat, hogy megállapíthassuk melyik a leghatékonyabb, és tisztázni kell az alkalmazás legmegfelelőbb idejét és módszereit, hogy minimálisra csökkentsük a H₂S elpárolgását, vagy a szulfátok kimosódását.

Mikrotápanyagok

A mezőgazdaság intenzívebbé válásával egyre inkább szükséges lesz a mikroelem-trágyázás. Indiában már széles körben fellép a Zn-hiány [34]. Az elemzett talajmintáknak egynegyed-háromnegyed része Zn-hiányt mutatott, és a Zn-műtrágyák alkalmazása átlagosan 0,5 t/ha-ral növeli a kalászosok szemtermését. A vas-, mangán-, réz- és bórhiány ugyancsak csökkentette a rizsterméseket Indiában, és amikor Fe-, Mn-, Cu- és B-tartalmú műtrágyákat juttattak ki, a termés átlagosan 0,5 t/ha-ral nőtt [34].

Adott növények mikroelem-trágyázásánál szükséges specifikusan meghatározni, hogy a mikroelemek milyen kémiai formában alkalmazhatók, és milyen kijuttatási módok jöhetnek

szóba. Például árasztott rizsnél általános a Zn-hiány, de 5—15 kg/ha cink-szulfát vagy -oxid talajba adásával megszüntethető; egy másik lehetőség, hogy a palánták gyökérzetét, közvetlenül palántázás előtt, cink-oxid-pépbe merítjük. E két módszer nagyon eltérő Zn-mennyiségeket alkalmaz, és további kutatást igényel, hogy a nagy adagban adott cinkből mennyi marad vissza a talajban.

A mikrotápanyagokat gyakran levélpermetként juttatják ki; meg kell állapítani, hogy ilyen módon, vagy pedig a talajba adagolva hatékonyabbak-e ezek az elemek.

A műtrágyák elhelyezése

Ha a műtrágyát a maghoz vagy a gyökérzethez közel helyezzük el, az gyakran jelentősen növeli az első trágyázott növények tápanyagfelvételét. Olyan területeken, ahol még nem vizsgálták, tanulmányozni kell a N-műtrágyák (főképp a karbamid) alkalmazási módszereit, hogy a növény N-felvételét növeljük, és a párolgási veszteségeket csökkentjük. A P- és K-műtrágyákkal kapcsolatban tisztázni kell, hogy milyen elhelyezési módszerrel növelhetjük az első trágyázott növény P- és K-felvételét. Emellett a kén és a mikrotápanyagok elhelyezésének módszerei is tanulmányozásra szorulnak, mivel keveset tudunk arról, milyen előnnyel jár egyik vagy másik. A levéltrágyázás az egyik lehetséges módszer; meg kell vizsgálni, hogy a fő tápanyagok milyen körülmények között juttathatók ki ezen a módon, ha a talajból való felvételüket szárazság vagy rossz fizikai sajátságok gátolják. Irakban végzett búzakísérletek azt mutatják, hogy 20 kg N/ha permet formájában alkalmazva sokkal hatékonyabb volt, mint a talajba adva [39]. WITTEW [46] úgy véli, hogy a levéltrágyázás a jövőben a műtrágyázás igen fontos módszere lesz.

A talajtermékenység ellenőrzésére irányuló kutatómunka

A talajtermékenységgel foglalkozó kutatások célja, hogy a szerzett ismeretek segítségével eredményesen hasznosíthassuk a talajokat mindannyiunk javára. Ezen a téren a következő tennivalók vannak:

a) Meg kell vizsgálni a jelenlegi termelési rendszereket, és azonosítani azokat a tényezőket, amelyek a termelést a jelenlegi szintre korlátozzák.

b) Ki kell dolgozni azokat az intézkedéseket és hasznosítási módokat, amelyekkel az akadályozó tényezők elháríthatók.

c) Kísérletezni kell a fentiek különböző kombinációival, hogy megállapíthassuk kölcsönhatásaikat, és bemutathassuk, hogyan növelik a termést.

Ez a kutatási terület szoros kapcsolatban van a műtrágyák hatékonyságával, ami a jelen dolgozat tárgya. Mindaddig, amíg nincs megállapítva egy bizonyos növény terméspotenciálja egy adott helyen, és amíg nem ismeretesek azok a környezeti és más akadályok, amelyek e potenciál elérését gátolják, nem lehet pontosan és teljesen felbecsülni a műtrágyázás értékét azon a helyen. Csak akkor adhatunk valóban jó tanácsot a gazdálkodóknak a helyes műtrágyaadagokra és a jó hatékonyságot biztosító alkalmazási módszerekre vonatkozóan, ha a talaj termékenységét befolyásoló valamennyi tényező teljes mértékben ismeretes.

Más helyen már tárgyaltam a növénytermesztés gátló tényezőit [9], és hangsúlyoztam, hogy azokat a kutatásokat, amelyek azt célozzák, hogy a gyakorlatban elért terméseredmények megközelítsék a potenciális szintet, multidiszciplináris tevékenységre kell alapozni, és a terméseredményeket befolyásoló tényezőket multifaktoriális kísérletekben kell vizsgálni. Ezeket a kísérleteket úgy kell megtervezni, hogy a termést befolyásoló tényezők kölcsönhatásait könnyen lehessen tanulmányozni; ez azt jelenti, hogy minden tényezőnek legalább három

szintjét kell faktoriális kombinációkban alkalmazni. Meglepően kevés ilyen munkát végeztek eddig. Például még az arid és szemi-arid területeken is csak kevés kísérletben határozták meg mennyiségileg a víz és a tápanyagok életfontosságú kölcsönhatását. Az ilyen kölcsönhatások fontosságának bemutatására elegáns kísérleteket végeztek az 1920-as évek végén Szudánban, nem sokkal azután, hogy R. A. FISHER kifejtette a faktoriális beállítás gondolatát. CROWTHER [10] három különböző víz- és három különböző ammónium-szulfát-adag hatását és kölcsönhatását vizsgálta gyapoton. Jelentős kölcsönhatás mutatkozott az öntözés és a N-műtrágyázás szintjei között. A termelés növelése mellett ez a kölcsönhatás növelte a műtrágyák hatékonyságát. Az alkalmazott nitrogén hasznosulása kétszeresére emelkedett, ha a vízádagot a legalacsonyabbról a legmagasabb szintre emelték. Mindenütt a világon gyakoribbá kell tenni a multifaktoriális kísérleteket, hogy tanulmányozni lehessen a gátló tényezők okozta termés kieséseket, azt, hogy mi módon lehet urrá lenni rajtuk megfelelő kezelésekkel, és hogy miképpen növeli a terméseredményeket a kezelések kölcsönhatása. Amikor minden gátló tényezőt sikerült elhárítani, a termést kizárólag a növény genetikai kapacitása és a napsugárzás mennyisége szabja majd meg.

A terméssingadozás kísérleti vizsgálata

A legtöbb országban az átlagtermések csak egy kis részét képezik az optimális növekedési körülmények között megvalósítható növényi potenciálnak [8, 9]. Általában egy országban a legnagyobb hozamokat a kísérleti állomásokon kapják; ezek rendszerint (de nem mindig) meghaladják az ország legjobb gazdaságaiban elért terméseket, amelyek viszont gyakran sokkal nagyobbak, mint amit a szomszédai takarítanak be. A mezőgazdászok, talajkutatók és más szakemberek elsőrendű kötelessége, hogy az ilyen terméskülönbségek okait meghatározzák, és módszereket dolgozzanak ki a limitáló tényezők megszüntetésére.

TINKER és WIDDOWSON [41] tárgyalták az angliai búzahozamok eltéréseinek okait, és ismertették azoknak a kutatásoknak egy részét, amelyek révén meg akarják állapítani, hogy milyen gátló tényezők csökkentik az országos átlagtermést a növényi potenciálnak kevesebb mint a felére. Általánosan elfogadott, hogy az ilyen kutatások célja az adott növény maximális biológiai potenciáljának az elérése az adott éghajlati viszonyok között, és annak a vizsgálata, hogy milyen tényezők okozzák a terméshozamok eltérését az optimálistól. A munka alapja az őszi búza teljes modellje. A vizsgált variációk magukban foglalják a növényfajtát, a talajtypust, a nedvességviszonyokat (vízborítás, ill. aszály), azokat a talajszerkezeti tényezőket, amelyek a gyökérmélységet és az altalajból való vízfelvételt befolyásolják, valamint mind a levelek, mind a gyökerek betegségeit és kártevőit. A kutatók figyelemmel kísérik az egész tenyészidőszak folyamán, hogy a különböző N-szinteknek és az alkalmazás idejének a hatása miképpen nyilvánul meg a búza egymást követő fejlődési szakaszaiban a növények növekedésében, a talaj nitrátkészletében és a búzaszárban mért nitrát koncentrációban. Az eddigi eredményekből az a következtetés vonható le, hogy nem elegendő a teljes szükséges N-mennyiséget biztosítani, hanem azt úgy kell adagolni, hogy a növény *mindig* elegendő nitrátot vehessen fel a talajból, és hogy a maximális bokrosodás biztosítva legyen. A kísérletek azt mutatták, hogy nagyon fontos kölcsönhatás áll fenn a N-műtrágyázás hatására bekövetkező termésnövekedés, és a gombák, ill. a levéltetvek okozta levélkárosodás csökkentésének köszönhető termésnövekedés között.

TINKER és WIDDOWSON [41] hangsúlyozza, hogy a legnagyobb termés akkor érhető el, ha mind a döntések, mind a foganatosításuk időzítése helyes. A gyökérbetegségeket el kell kerülni, és meg kell akadályozni, hogy rovarok és patogén mikroorganizmusok károsítsák a leveleket. Az öntözésre akkor van szükség, ha a csapadékmennyiség és a potenciális evapotranszpiráció különbsége felülmúlja a talaj víztartó képességét. Arra a következtetésre jutnak, hogy „ahol számos döntés mindegyike kritikus, csekély az esély, hogy mindegyik megfelelő legyen”. Ez az eset, amikor a növekedési folyamatok és a talaj tápanyagkészletének matematikai modellezése nagyon fontossá válik. Ha ez teljesen megvalósul, és kísérletileg bizonyítást nyer, akkor majd a

rendelkezésünkre állnak azok a megfelelő információk, amelyek a megbízható növénytermesztés alapját képezhetik.

Ha a terméshingadozások okainak tisztázására irányuló munka eredményes lesz, rendelkezésünkre állnak majd azok a módszerek, amelyek alkalmazásával biztosíthatjuk a növény genetikai képessége és a napfény kinetikus energiája által lehetővé tett maximális terméseket. Ezt a programot bírálták, „akadémikusnak” nevezték, ami távol áll a gyakorlati kérdésektől. Ez a kritika viszont az igazságtól áll távol. A fenti munka célja ugyanis az, hogy behatóan megismerjük a növénytermesztési rendszert, ami a nap sugárzó energiáját biomasszává alakítja, valamint a rendszer alkotórészeit: a talajt és a vizet és azokat az emberi beavatkozásokat, amelyekkel kiküszöbölhetjük a növények fejlődését akadályozó tényezőket. Ezeknek az ismereteknek a birtokában ideális, megbízható rendszerek kialakításával megvalósíthatjuk az előirányzott szintű termést, tájékoztathatjuk a mezőgazdászokat és közigazdászokat a rendszerek valószínű költségeiről, és arról, hogy milyen a különböző szintű termelés jövedelmezősége. Az említett szakemberek azután felvilágosítják a gazdálkodókat, hogy milyen termelési rendszerekkel és befektetésekkel érhetik el a maximális gazdaságos termést. Természetesen a kutatás azt is tisztázza, mi a teendő, hogy az összes befektetés maximálisan hatékony legyen. Az is magától értetődik, hogy a kutatási eredmények alapján olyan rendszert kell kialakítani, amivel a talaj termékenységét lehetőleg növelhetjük, de legalábbis fenntarthatjuk a környezet szennyezése nélkül.

Ily módon a létező növénytermesztési rendszerek alapján kifejlesztett, és multifaktoriális kísérletekkel bizonyított matematikai összefüggések segítségével a talaj termékenységének — és ezáltal az emberiség jövőjének — megbízható irányítói lehetünk.

Irodalom

- [1] BECKER, F. A. & AUFHAMMER, W.: Nitrogen fertilisation and methods of predicting the N requirements of winter wheat in the Federal Republic of Germany. *Proc. Fertil. Soc. Lond.* No. 211. 33—66. 1982.
- [2] BLAIR, G. J., MOMUAT, E. O. & MAHARIL, C. P.: Sulfur nutrition of rice. *Agron. J.* 71. 473—480. 1979.
- [3] BROGAN, J. C. & MURPHY, M. D.: Sulphur nutrition in Ireland. *Sulphur in Agriculture*. 4. 2—6. 1980.
- [4] BUWALDA, J. G., STRIBLEY, D. P. & TINKER, P. B.: Effects of mycorrhizas on cereal growth in the field. Rothamsted Experimental Station Report for 1982. Part 1. 271—2. 1983.
- [5] BYRNES, B. H., SAVANT, N. K. & CRASWELL, E. T.: Effect of a urease inhibitor phenyl phosphorodiamidate on the efficiency of urea applied to rice. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 47. 270—274. 1983.
- [6] CANNELL, R. Q.: The fertilizer N balance for a winter wheat crop. Unpublished results from Letcombe Laboratory. (Personal communication) 1983.
- [7] COOKE, G. W.: Long-term fertilizer experiments in England: the significance of their results for agricultural science and for practical farming. *Annales agronomiques*. 27. 503—536. 1976.
- [8] COOKE, G. W.: Fertilizing for maximum yield. 272—275. Third Edition. London. Granada. 1982.
- [9] COOKE, G. W.: Constraints imposed by soil on crop production. Letcombe Laboratory Annual Report for 1982. 1983. (In press)
- [10] CROWTHER, F.: Studies in growth analysis of the cotton plant under irrigation in the Sudan. I. The effects of different combinations of nitrogen applications and water supply. *Annals of Botany*. 48. 877—913. 1934.
- [11] DE DATTA, S. K., FILLERY, I. R. P. & CRASWELL, E. T.: Results from recent studies on nitrogen fertilizer efficiency in wetland rice. *Outlook on Agriculture*. 12. 125—134. 1983.
- [12] DILZ, K. et al.: Intensive wheat production as related to nitrogen fertilization, crop protection, and soil nitrogen: experience in the Benelux. *Proc. Fertil. Soc. Lond.* No. 211. 93—124. 1982.
- [13] DOWDELL, R. J.: Fate of nitrogen applied to agricultural crops with particular reference to denitrification. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* B296. 363—373. 1982.
- [14] DYKE, G. V. et al.: The Broadbalk wheat experiment 1968—1978: yields and plant nutrients in crops grown continuously and in rotation. Rothamsted Experimental Station Report for 1982. Part 2. 5—44. 1983.

- [15] FERTILISER SOCIETY.: Symposium on fertilisers and intensive wheat production in the E. E. C. Proc. Fertil. Soc. Lond. No. 211. 1982.
- [16] Fertilizer yearbook, 1981. 31. Rome. F. A. O. 1982.
- [17] FRISSEL, M. J. & VAN VEEN, J. A.: A review of models for investigating the behaviour of nitrogen in soil. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B296. 341—349. 1982.
- [18] GARDNER, H. W.: Manuring barley on Chalk. Agriculture, Lond. 66. 396—397. 1960.
- [19] GASSER, J. K. R.: Urea as a fertilizer. Soils Fertil. 27. 175—180. 1964.
- [20] GASSER, J. K. R.: Agricultural productivity and the nitrogen cycle. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B296. 303—314. 1982.
- [21] GREENWOOD, D. J.: Modelling of crop response to nitrogen fertilizer. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B296. 351—362. 1982.
- [22] HARPER, L. A. et al.: Ammonia volatilisation: soil, plant, and microclimate effects on diurnal and seasonal fluctuations. Agron. J. 75. 212—218. 1983.
- [23] HILLS, F. J., BROADBENT, F. E. & LORENS, O. A.: Fertilizer nitrogen utilisation by corn, tomato and sugar beet. Agron. J. 75. 423—426. 1983.
- [24] INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER: IFDC/IRRI Collaboration. Annual Report for 1979. 16—19. Muscle Shoals, Alabama. 1980.
- [25] INTERNATIONAL FERTILIZER DEVELOPMENT CENTER: Phosphate research. Annual Report for 1981. 33—40. Muscle Shoals, Alabama. 1982.
- [26] INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium in tropical crops and soils. Proceedings of the 10th Colloquium, December 1983, Abidjan, Ivory Coast. Bern, Switzerland. 1974.
- [27] INTERNATIONAL POTASH INSTITUTE: Potassium Workshop. Proceedings of Workshop at Ibadan, Nigeria, October 1980. Bern, Switzerland. 1980.
- [28] JENKINSON, D. S.: The nitrogen cycle in long-term field experiments. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B296. 563—571. 1982.
- [29] JENKINSON, D. S. et al.: Losses of ¹⁵N-labelled fertilizer-N applied to winter wheat; uptake of fertilizer-N by old grassland. Rothamsted Experimental Station Report for 1982. Part 1. 263—264. 1983.
- [30] JEWITT, T. N.: Loss of ammonia from ammonium sulphate applied to alkaline soil. Soil Sci. 54. 401—409. 1942.
- [31] JOHNSTON, A. E. & POULTON, P. R.: Yields on the Exhaustion Land and changes in the NPK content of the soils due to cropping and manuring, 1852—1975. Rothamsted Experimental Station Report for 1976. Part 2. 53—85. 1977.
- [32] MATTINGLY, G. E. G. & JOHNSTON, A. E.: Long-term rotation experiments at Rothamsted and Saxmundham Experimental Stations: the effects of treatments on crop yields and soil analyses and recent modifications in purpose and design. Annales agronomiques. 27. 743—769. 1976.
- [33] NEEDHAM, P.: The role of nitrogen in wheat production: response, interaction, and prediction of nitrogen requirements in the U. K. Proc. Fertil. Soc. Lond. No. 211. 125—147. 1982.
- [34] RANDHAWA, N. S. & BHATIA, P. C.: Soil management. In: 50 Years of Agricultural Research and Development. (Ed.: JAISWAL, P. L.) 49—54. Indian Council of Agricultural Research. New Delhi. 1979.
- [35] REMY, J. C. & VIAUX, PH.: The use of nitrogen fertilizers in intensive wheat growing in France. Proc. Fertil. Soc. Lond. No. 211. 67—92. 1982.
- [36] ROY, R. N., SEETHARAMAN, S. & SINGH, R. N.: Soil and fertilizer potassium in crop nutrition. Fertiliser News. 23. 3—26. 1978.
- [37] RYDEN, J. C.: Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate. J. Soil Sci. 34. 355—365. 1983.
- [38] SCOTT, N. M. et al.: Response of grassland to the application of sulphur at two sites in north-east Scotland. J. Sci. Fd Agric. 34. 357—361. 1983.
- [39] SETH, J. & MOSLUH, K. I.: Effects of urea spray on wheat in Iraq. Expt. Agric. 17. 333—336. 1981.
- [40] TINKER, P. B.: Mycorrhizas: the present position. Transactions of the 12th International Congress of Soil Science, Delhi. 5. 150—166. 1982.
- [41] TINKER, P. B. & WIDDOWSON, F. V.: Maximising wheat yields, and some causes of yield variation. Proc. Fertil. Soc. Lond. No. 211. 149—184. 1982.
- [42] VLEK, P. L. G. & CRASWELL, E. T.: Ammonia volatilisation from flooded soils. Fertilizer Research. 2. 227—245. 1981.
- [43] VON PETER, A.: Fertiliser requirements in developing countries. Proc. Fertil. Soc. Lond. No. 188. 1980.

- [44] WHITE, R. E.: Retention and release of phosphate by soil and soil constituents. In: Soils and agriculture; critical reports on applied chemistry. (Ed.: TINKER, P. B.) 71—114. Blackwells Scientific Publications. Oxford. 1980.
- [45] WILD, A. & CAMERON, K. C.: Soil nitrogen and nitrate leaching. In: Soils and agriculture; critical reports on applied chemistry. (Ed.: TINKER, P. B.) 35—70. Blackwells Scientific Publications. Oxford. 1980.
- [46] WITTWER, S. H.: The shape of things to come. In: The biology of crop productivity. (Ed.: CARLSON, P. S.) 413—459. Academic Press. New York. 1980.

G. W. COOKE
Rothamsted Kísérleti
Állomás, Harpenden,
Herts (Egyesült Királyság)

Érkezett: 1984. június 11.