

## **A műtrágyázás összefüggése a világ élelmiszer- és energiaszükségletével, valamint környezetvédelmi problémákkal**

Az 1973-ban fellépett energiaválság a figyelmet erőteljesen a nyersanyagokkal és energiahordozókkal való gondosabb gazdálkodás szükségességére irányította. Akármilyen nagyok Földünk tartalékai, mégis végesek, és pótlásukról is gondoskodni kell, ha a későbbi generációk igényeit is figyelembe vesszük. Ez a megállapítás nemcsak olyan közismert anyagokra és természeti erőforrásokra vonatkozik, mint az olaj, talaj, erdők és más hasonlók, hanem olyan készítményekre is, amelyeket az elsődleges energiahordozók felhasználásával készítenek, mint pl. műtrágyák, gépek, sőt az élelmiszerek is. E dolgozatnak az a célja, hogy megvizsgálja a műtrágyák szerepét a világ élelmiszer-termelésében, szoros kapcsolatban egyrészt az előállításukhoz szükséges energiával, másrészt a műtrágyázás környezetvédelmi vonatkozásaival.

A műtrágyák fontosságát az eredményes növénytermesztésben 1950–1960 között ismerték fel teljesen, világszerte. A „zöld forradalom” nemcsak azért valósulhatott meg a fejlődő országokban, mert új „csoda”-fajtákat vezettek be, hanem azért is, mert oleosó műtrágyák — főként nitrogénműtrágyák — álltak rendelkezésre az új növényfajták megfelelő táplálására. Bizonyos fokig változott a helyzet, amikor, 1969-től kezdve, környezetvédelmi problémák kerültek az érdeklődés középpontjába.

Az 1973-as energiaválság a kérdés újbóli átértékelését tette szükségessé; nem lehet már a műtrágyákat olyan csodaszernek tekinteni, amely egy csapásra megoldja a világ élelmiszer-termelésének problémáit. A nyersolaj és földgáz hiánya, valamint az emelkedő árak az ammónia-termelés költségének növekedésével jártak és számos esetben a műtrágyák — elsősorban nitrogénműtrágyák — árának nemegyszer többszörösére való emelkedéséhez vezettek. Ez leginkább a fejlődő országokat sújtotta, amelyek a „zöld forradalom” előnyeit kihasználva igyekeztek növekvő lakosságukat megfelelő mennyiségű táplálékkal ellátni.

### **A műtrágyázás perspektívái az 1970-es években**

Manapság a „műtrágya” szó már nemcsak szakmai kifejezés, hanem általánosan használják és majdnem olyan tiszteletet parancsoló, mint a gépkocsi, hűtőszekrény vagy az a többi termék, amelyeket a huszadik század fejlett ipara hozott létre. Az Egyesült Nemzetek Világélelmiszeri Konferenciáján 1974 novemberében az „élelmiszer” és „műtrágya” kifejezéseket majdnem szinonim módon alkalmazták.

#### *Kapcsolat a világ élelmiszer-igényével*

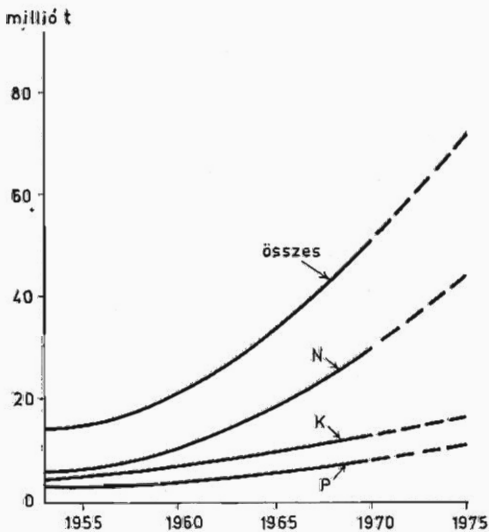
Az 1. ábrán feltüntettük a múlt, a jelen és a belátható jövő műtrágya-felhasználását. Érthető, hogy a műtrágya-felhasználás növekvő ütemének összhangban kell lennie azokkal az eredményekkel, amelyek alkalmazásuk során következnek be. A 2. ábra a műtrágya-felhasználás és a kukorica átlagos terméseredményei között tapasztalt összefüggést mutatja be (Nebraska, USA 1952 — 72-es adatok alapján). Hasonló eredményeket értek el számos más, fejlett mezőgazdasággal rendelkező területen is: a helyes műtrágyázás következtében a termések megkétszereződtek, megháromszorozódtak. Természetesen meg kell jegyezni, hogy ezeknek a jelentős eredményeknek az eléréséhez a műtrágyázáson kívül hozzájárultak más technológiai újítások is, pl. nemesített fajták, kémiai növényvédelem, korszerűbb talajművelés, növényápolás stb. Ezt is figyelembe véve mégis arra a következtetésre juthatunk, hogy a jelenlegi termésátlagok minden valószínűség szerint a mai érték 50%-ára, vagy még annál is alacsonyabbra esnének vissza 3 vagy 4 év leforgása alatt, ha a műtrágya-felhasználás az 1952-es szintre csökkenne.

A fejlődő országokban a modern műtrágyázás bevezetése hasonlóan látványos eredményekkel járt. A kísérletek száza szerint, amelyeket több országban folytatott a FAO az FFHC Műtrágyázási

Programmal [10] kapcsolatban, egyéb különleges intézkedések nélkül, csupán a műtrágyázás a paraszti gazdaságokban a terméshozamokat átlagosan 60%-kal emelte. A termelési érték : költség arány — mint azt a gazdasági elemzések bizonyítják — igen kedvező volt, vonzó a gazdálkodók számára. Ezeknek és más eredményeknek az alapján a FAO a műtrágya-felhasználás évenkénti 14%-os növelését tervezte egészen 1985-ig, abból a célból, hogy a fejlődő országok várható mértékben növekedő népességének élelmezése biztosítva legyen. Ez meg is történt egészen kb. 1971-ig, és mivel egyidejűleg a „zöld forradalom” technológiáját több országban alkalmazták, megalapozottnak tűnt az az optimista vélemény, hogy a belátható jövőben mindennemű élelmiszer-válságot el lehet kerülni. Például néhány olyan ország, amely tradicionálisan gabonahiánnyal küzdött, exportőrré vált (mint pl. a Fülöp-szigetek, Mexikó, Törökország és Taiwan), míg más országokban (mint pl. India, Pakisztán és Indonézia) reális lehetősége nyílt annak, hogy a közeljövőben önellátóvá váljanak.

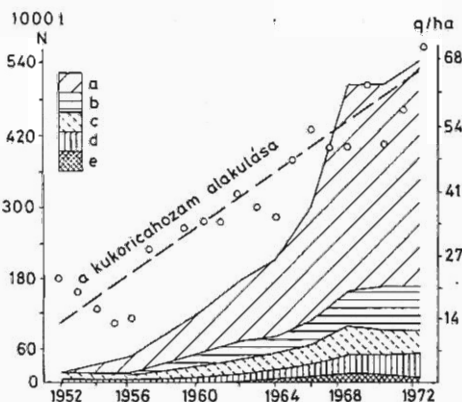
1974-ben azonban az előző 3 évben kialakult kedvező kilátásokat igen komolyan lecsökkentette egyrészt a világ különböző területein bekövetkezett szárazság, más-

részt a műtrágyahiány. A legkritikusabb hiány — kb. 1 millió tonna — a nitrogén-műtrágyákban mutatkozott; sajnos ezen a téren 1979-ig nem várható javulás, ha figyelembe vesszük a tervezett új, alacsonyabb gyári kapacitást [19]. A közlelőbbi kilátások sem kedvezőek, hiszen a spirál-szerűen emelkedő műtrágyaárak és a négy-szeres áron vásárolt olaj behozatala súlyosan érintette a legtöbb fejlődő ország valuta mérlegét. A világ hirtelen tudatára ébredt annak, hogy az élelmiszerek, műtrágyák és az energia elválaszthatatlanul összefüggnek egymással.



1. ábra

A világ műtrágyatápanyag-felhasználása 1970-ig és várható alakulása [5]. Független tengely: növényi tápanyagok, millió tonnában.



2. ábra

Összefüggés a felhasznált műtrágya-N és a kukorica termésátlaga között Nebraskában 1952—1972 között. Független tengely: felhasznált műtrágya, 1000 tonna N; a kukorica termésátlaga, q/ha/év. a) ammónia-anhidrid; b) nitrogénoldatok; c) ammónium-nitrát; d) keverékek; e) karbamid és ammónium-szulfát.

Energiaszükséglet

A modern mezőgazdasági termelés rendkívül energia-igényes, elsősorban a fosszilis, különösen nyersolajból származó anyagokban. Bebizonyítható, hogy a modern mezőgazdasági technológia a fosszilis energiát ugyanolyan nagyságrendben használja fel, mint amilyen nagyságrendű a termelt élelmiszerekben felhalmozott potenciális energia [4, 12, 16]. Már ez is igen soknak tűnik; fontos azonban, hogy ráébredjünk arra, hogy ennél hatszor vagy hétszer több energia kerül felhasználásra később, az élelmiszerek szállítása, forgalmazása, feldolgozása, csomagolása, hűtése, főzése stb. során [4, 16].

Az 1. táblázat bemutatja, hogy kukorica-termeléshez 1 ha-nyi területen mennyi és milyen energia nyert felhasználást 1970-ben, összehasonlítva az 1945. évi adatokkal [12]. Az adatok országos átlagos termésre, műtrágya-adagra, üzemanyag-felhasználásra, gépekre stb. vonatkoznak, és valamivel kedvezőbb hozam: befektetés

1. táblázat

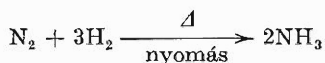
1 ha kukorica termesztéséhez felhasznált energia-mennyiségek az USA-ban 1945-ben és 1970-ben (Pimentel et al. adatai [12] alapján)

Felhasznált energia	Energia egyenérték kcal $\times 10^3$	
	1945.	1950.
Elektromosság	80	775
Műtrágya	185	2640
Benzin	1357	1992
Megszáritás	25	300
Öntözés	47	85
Munka	30	12
Gépek	450	1050
Peszticidok	—	55
Magok	85	157
Szállítás	50	175
Felhasznált energia összesen:	2309	7241
Szemtermés:	8567	20412
Szemtermés/felhasznált energia:	3,7	2,8

arányt mutatnak, mint egyéb adatok, amelyek a mezőgazdasági termékek szélesebb skálájára készültek. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy a kukorica egységnyi területre vonatkoztatva jobban felhasználja a Nap sugárzó energiáját, mint sok más növény. Az adatok világosan mutatják, hogy milyen változás következett be a fosszilis üzemanyag-energia, valamint az emberi munka vonatkozásában. A szemtermés kb. 2,4-szeresére növekedett 25 év alatt, azonban az összes energia-felhasználás megháromszorozódott, ezért a hozam: befektetés arány közel 25%-kal csökkent. A jelen tanulmány szempontjából még ennél is figyelemre méltóbb az a tény, hogy a műtrágyák váltak a legtöbb befektetett energiát hordozó tényezővé az egész rendszerben.

A világon előállított műtrágyák túlnyomó része N-t, P-t vagy K-t tartalmaz, mivel ezek a legfőbb növényi tápanyagok, amelyek minden valószínűség szerint dön-

tően befolyásolják a termésátlagokat. A nitrogénműtrágyák majdnem 90%-át képezik az 1. táblázatban közölt energia-felhasználásnak. Ez azzal magyarázható, hogy igen nagy mennyiségű anyag, rendszerint földgáz vagy nyersolaj szükséges az elemi  $H_2$ -, valamint hő- és nyomás előállításához annak a reakciónak a létrehozására, amelynek során a levegő elemi  $N_2$ -je  $H_2$ -val egyesül és ammónia képződik:



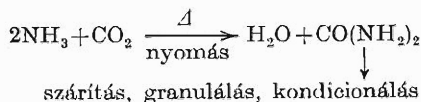
A 2. táblázat azon energia-mennyiségeket mutatja be, amelyek 1 kg  $NH_3$ -N, illetve 150 kg ammónia-formában levő N előállításához szükségesek. Megjegyzendő,

2. táblázat

Az ammónium-anhidrid előállításához szükséges energia, ha földgázt használnak energiaforrásként

Energiaforrás és egységek	1 kg $NH_3$ -N előállításához felhasznált energia	150 kg N $NH_3$ formában való előállításához szükséges energia
Földgáz, mennyiség	4,3 m <sup>3</sup>	645 m <sup>3</sup>
Kcal	10 831	1 625 000

hogy a feltüntetett értékek egy, az 1970-es évek elejét képviselő gyár ammónia-anhidrid termelésére vonatkoznak. További technológiai eljárások során, amikor szilárd termékek, pl. ammónium-nitrát és karbamid képződnek, amelyeket gyakrabban használnak a mezőgazdasági termelésben, még nagyobb az energia-szükséglet:



Az Egyesült Államokban az évente felhasznált földgáznak kb. 1,5%-át fordítják műtrágya-N gyártására [16]. A jelenlegi energiaválság miatt a téli hónapokban a termelést némileg korlátozták, miután a házak fűtése prioritást élvezett. Ily módon a nitrogénműtrágya-termelés kapacitásának növekedése — amely feltétlenül szükséges a közel jövőben a világ élelmiszer-szükségleteinek a kielégítéséhez — az olajtermelő országokban kell hogy bekövetkezzen.

A műtrágyatermelés energia-szükséglete szélsőségesen nagy, tünhet a szemünkben, ezért vizsgáljuk meg a modern társadalom egyéb energia-fogyasztását is. A mezőgazdaság teljes energia-szükséglete, amely 1 személy számára 1 évre szükséges élelmiszer megtermeléséhez kell, az Egyesült Államokban kb. 500 liter benzinnel egyenértékű, amelyből 180 liter jut a műtrágyára. Ezzel szemben egy gépkocsi az Egyesült Államokban kb. 3150 litert használ fel évente. El kell döntenünk, mi élvezzen prioritást — és ha ebben a megvilágításban látjuk a helyzetet, a műtrágya energia-szükséglete már nem is tűnik olyan túlzottnak.

*Műtrágyázás és környezetvédelem*

Az utóbbi időben megfigyelték, hogy évről évre növekedik a kötött N mennyisége a levegőben, esővízben, folyó- és állóvizekben [3, 9]. Nem kétséges, hogy a N-források igen különbözőek lehetnek, de a műtrágyatermelés mértani haladáshoz hasonló növekedése mindenképpen indokoltá teszi azt a gyanút, hogy a fenti jelenség a N-műtrágyák hatására következett be. Egy környezetvédelemmel foglalkozó szakember odáig ment, hogy kijelentette: a N-műtrágyázás megengedhetetlen beavatkozás a természet egyensúlyába, és ezért 10 évre be kell szüntetni! A P-műtrágyákkal kapcsolatban ugyancsak felmerült az a gyanú, hogy igen nagy szerepet játszanak a felületi vizek „termékenységében”. Következésképpen nagy figyelem irányul világszerte az intenzív műtrágya-felhasználás és az emberi környezet viszonyára.

*A felületi vizek eutrofizációja*

Az utóbbi években igen sok panasz és kifogás hangzott el az édesvizek fokozódó eutrofizációja miatt. A kutatások bebizonyították, hogy a N- és P-tápanyagok alapvető szerepet játszanak az algák és más szervezetek elszaporodásában. Természetesen más tényezők, mint pl. kevésbé mozgó és eléggé meleg vizek, bomló organikus anyagok, melyek CO<sub>2</sub>-ellátást biztosítanak, stb. jelenléte ugyancsak felelős ezekért a folyamatokért.

Ha az egyéb tényezők megfelelőek, már 0,3 ppm ásványi N és 10 ppb oldható P a vizekben elegendő az eutrofizációhoz [18]. Ennél nagyobb mennyiség már virágzó algatenyésztet tesz lehetővé. Az eutrofizációs folyamatok kutatóinak többsége egyetért abban, hogy elsősorban a városi szemét növekvő mennyisége, továbbá az állattartás jelenlegi koncentrált jellege

mind a hizlalással, mind a tejtermékek előállításával foglalkozó gazdaságokban felelős az eutrofizációért. A drénvizek P-koncentrációja különösen a csatornahálózatból bekekerülő háztartási tisztítószerek hatására növekedett meg. Az állati ürülék, amely régebben nagyjából egyenletesen oszlott el a földeken, manapság nagymértékben koncentrálódik kis számú központban. Ezek a központok a környezetszennyezés forrásaivá válnak, ha elfolyó, szerves- és tápanyagban dús vizeik folyókba és tavakba jutnak.

A mezőgazdaság kétségtelenül hozzájárul a felszíni vizek eutrofizációjához. Pl. Svájcban a folyóvizekben szállított N- és P-tápanyag mennyisége egyenes arányban van az egyes vízgyűjtő területeken levő, mezőgazdasági művelés alatt álló területek kiterjedésével — ez nyilvánvalóan a műtrágyák szerepére utal [8]. Az ilyen tápanyagok jelentős részét az eróziós folyamatok mozgatják mint szuszpendált anyagot; a N-t szerves kolloidokban, a P-t főképpen talajszedimentumokban. Természetesen ezek az anyagok nem mind a műtrágyákból származnak, hanem a talaj eredeti tápanyagtartalmából is. Ha a gyorsuló erózió megfelelőképpen ellenőrzés alá kerülne, nem jutna nagy mennyiségű szedimentum a vízbe. A Nebraska államban (USA) végzett vizsgálatok világosan mutatják azt, hogy az emberi települések és az állattartás koncentrációja nagyobb mértékben befolyásolja az állam folyóinak N- és P-tartalmát, mint a növénytermesztés (3. ábra). A legnagyobb állattenyésztő farmok és a legtöbb emberi település az állam legkeletibb részében található és ugyanitt tartalmazzák a folyóvizek is a tápanyagok maximumát. Az adatok szerint az állam központi részében, ahol a növénytermesztés a legintenzívebb és a legnagyobb mennyiségű műtrágyát használják, csupán jelentéktelen mennyiségű N és P kerül a folyókba. További megfigyelés kapcsolatot talált a népsűrűség és az ehhez csatlakozó ipar, valamint a Missouri-folyó tápanyagtartalma között: az állam északi határa, valamint Sioux City között a tápanyagok mennyisége megkétszereződött, Omaha város alatt pedig háromszorosára növekedett.

A korrelációs tanulmányok során a tápanyagszintek összevetése az egyes területek statisztikai adataival szignifikáns összefüggést mutatott ki az emberi települések, valamint az állattenyésztő gazdaságok sűrűsége és a folyóvíz tápanyagtartalma között. A műtrágya-felhasználással egyáltalán nem találtak összefüggést.

A nebraskai vízvizsgálatok egyik érdekes adata (3. ábra), hogy a Platte-folyó

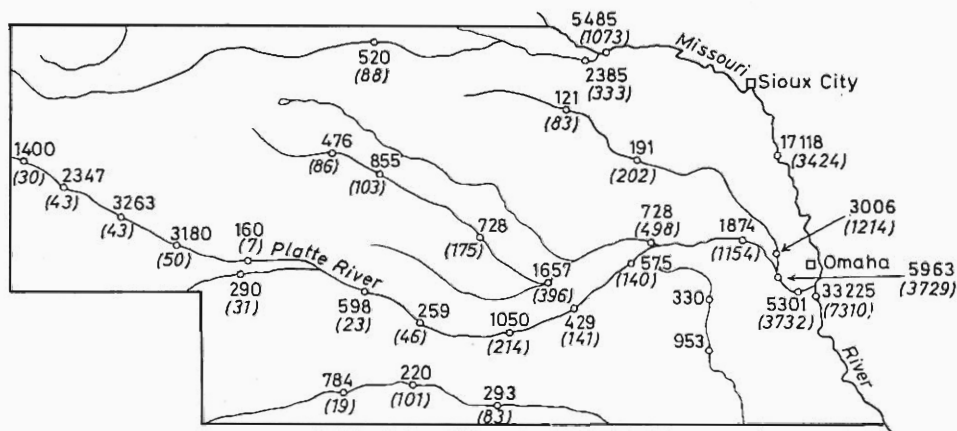
N- és P-tartalma élesen csökken Keith County-ben. A folyó nyugat felé levezetőül szolgál egy intenzíven öntözött terület számára, ahol néhány cukorgyár is működik és a terület marhatenyésztése fojlett. A mintavétel közvetlenül a fő víztároló alatt történt. Ez a tároló nyilvánvalóan a N és P „süllyesztőjeként” működik, a vízi élőszervezetek tevékenysége következtében. A tóban eddig nem következett be ugyan számottevő eutrofizáció, de ez csak idő kérdése, ha csak a folyót a rezervoár fölött meg nem tisztítják a tápanyagtartalmától. Hasonló megfigyeléseket tettek más nebraskai folyókkal kapcsolatban is.

A Nebraskában végzett vízvizsgálatok észrevehető szezonális ingadozást mutatnak a folyóvizekben fellelhető N koncentrációja és mozgása tekintetében. Mind a koncentráció, mind az áramlás a tavasz folyamán, valamint ősszel mutatott maximumot, nyilvánvalóan azokban az időszakokban, mikor a több csapadék a kimosódás mértékét növelte. Három éven át végeztek csapadékelemzéseket. A kapott adatok szerint az átlagos ásványi nitrogéntartalom ( $\text{NH}_4$  és  $\text{NO}_3$ , az előző dominál) kb. 2 ppm volt, míg a folyók átlagos N-koncentrációja 0,7 ppm körül mozgott, azaz csupán kb. 1/3-ad része volt. Ez nyilvánvalóan arra mutat, hogy a folyókba kerülő csapadék nagyban hozzájárul a folyók N-tartalmának növekedéséhez. Nem hagyható figyelmen kívül, hogy ezért jó részt a robbanómotorokat és azokat az ipari létesítményeket okolhatjuk, amelyek az atmoszférába juttatják az  $\text{NH}_3$ -t és  $\text{NO}_x$ -t. Az esővizek  $\text{NO}_3$ -N tartalmát Európában hasonló nagyságrendűnek ta-

lálták és megállapították, hogy évről évre észrevehetően növekszik. New Englandben a New York felől érkező széláramlatok következtében jóval magasabb értékeket mértek [3].

#### *Az élelmiszerek és talajvizek tápanyag-kontaminációja*

A lakosság számára az egyedüli tényleges mérgezési veszélyt N és P tekintetében az  $\text{NO}_3$ -N jelenti, amely túl nagy mennyiségben halmozódhat fel az ivóvízben vagy azon növényekben, amelyeknek zöld része kerül felhasználásra. Teljesen valószínűtlen, hogy az élelmiszereül szolgáló növényekben a P-koncentráció elérje a mérgező szintet, még akkor is, ha a foszfátműtrágyákat a gazdaságosnál jóval nagyobb mennyiségben alkalmazzák. Ez az elem nem mosódik le jelentős mennyiségben a talaj alsóbb szintjeibe, mivel a P-műtrágya legnagyobb részét adszorbeálják a talajkolloidok és a talajrendszeren belül rosszul oldódó vegyületekké alakul át. A műtrágyaként alkalmazott nitrogénvegyületek azonban könnyen oxidálódnak a természetes talajfolyamatok során és  $\text{NO}_3$ -N formába kerülnek, még mielőtt a növények adszorbeálnák őket. Miután a nitrátok igen jól oldódnak, a vízáramlással elmozdulnak, és amennyiben a talajok kilúgzódása jelentős, a gyökérszínából végül is a talajvízbe juthatnak. Az a víz, amelyben az  $\text{NO}_3$ -N koncentrációja eléri a 10 ppm-t, az egészségügyi hatóságok szerint emberi fogyasztásra már alkalmatlan. Ilyen víz fogyasztása csecsemőknél methemoglobinémiát



3. ábra

Nebraska folyóvizében levő oldható N- és P-vegyületek 1970–1973 között, kg N és P/nap. (A P-értékek zárójelben.)

okozhat; magasabb koncentrációnál hasonló veszély felnőttek és állatok esetében is fennáll.

Nagy mennyiségű nitrogénműtrágya alkalmazása után igen magas nem asszimilált  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmat találtak már néhány olyan növényben, amelynek zöld részét használják fel táplálékkul (pl. spenót). Ha az ilyen terményből bébi-ételt készítenek — különösen olyan háztartásokban, ahol nincs hűtőgép —, a csecsemőknél súlyos keringési betegségek és methemoglobinémia léphet fel [4]. Annak valószínűsége is fennáll, hogy az élelmiszerekben az  $\text{NO}_3\text{-N}$  és  $\text{NO}_2\text{-N}$  bizonyos koncentrációnál kölcsönhatásba lép másodlagos aminosavakkal és ennek következtében nitrozaminok képződnek, amelyek valószínűleg karcinogén, teratogén és mutagén hatásúak [17]. Ezért nagyon fontos, hogy gondosan ellenőrizzék az  $\text{NO}_3\text{-N}$  felhalmozódását bizonyos élelmiszernövényekben, amennyiben a leggazdaságosabb műtrágyaadagnál többet alkalmaznak.

Óvatosnak kell lenni akkor is, ha állatokat olyan területen legeltetnek, ahol szárazság vagy fagy idő előtt kipusztította a növényeket, miután ezeknek az  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalma potenciálisan igen nagy lehet.

Nebraskában a talajvizek  $\text{NO}_3\text{-N}$  akkumulációjának vizsgálata során fény derült arra, hogy mind az öntözött terület nagysága, mind a felhasznált műtrágyák mennyisége fontos befolyásoló tényező (3. táblázat). Úgy látszik, hogy az állatállomány nagysága kisebb mértékben befolyásolja, de a népsűrűség csak alig vagy egyáltalán nem.

A leglényegesebb passzív tényező a talajnak a talajvízszint feletti agyagtartalma. Ez minél magasabb, annál kevesebb az  $\text{NO}_3\text{-N}$  a vízben és fordítva. Természetesen minél közelebb van a talajvíz a felszínhez, annál valószínűbb, hogy nagyobb mennyiségű  $\text{NO}_3\text{-N}$  kerül bele. Ezek az összefüggések azonban csak részben magyarázzák meg a tapasztalt változékonyságot, valószínűleg jórészt azért, mert azok a statisztikai adatok, amelyekkel az egyes öntözőkutak vizének  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmát összevetik, nagy kiterjedésű területekre vonatkoznak, míg az egyes farmok alatti víz az adott helyszínre jellemző. Még fontosabb, igen nehezen érzékelhető tényező a különböző geológiai eredetű  $\text{NO}_3\text{-N}$  a regolitban a talajvíz felett, valamint azok az  $\text{NO}_3\text{-N}$  mennyiségek, amelyek a talajvízbe a felette elhelyezkedő talajrétegek szerves anyagának bomlása során kerültek az adott terület művelésbe vonása óta. Mindenesetre úgy látszik, meglehetősen komoly bizonyíték van arra, hogy a mű-

3. táblázat

Összefüggés a nebraskai talajvizek  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalma és néhány olyan tényező között, amely azt befolyásolja

Független változó	„r” érték
Talajszelvény agyagtartalma	—0,49**
Öntözőkutak sűrűsége	0,43**
Össze felhasznált műtrágya	0,28**
Öntözőkút mélysége	—0,28**
Víz pH értéke	—0,23*
Állatállomány sűrűsége	0,18*
Népsűrűség	—0,06

\* szignifikáns \*\* erősen szignifikáns

trágyák nitrogéntartalma legalábbis hozzájárul az  $\text{NO}_3\text{-N}$  felhalmozódásához a talajvizekben.

Az elmúlt 10 év során emelkedett Nebraskában a talajvizek nitráttartalma. Ez nyilvánvalóvá válik, ha összehasonlítjuk az analitikai adatait azoknak a vízmintáknak, amelyeket 480 öntözőkútból vettek a fő öntözési évadban 1961—1962-ben, majd 1971—1972-ben. Az analízisek adatai a várakozásnak megfelelően azt mutatták, hogy a talajvizek oldható foszfáttartalma nem változott észrevehetően a 10 éves időszak alatt, azonban  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmuk átlagosan 24%-kal emelkedett (4. táblázat). Ez az átlagos növekedés még nem lenne különösen aggasztó, hiszen több mint száz év kell még ahhoz, tekintve az alacsony kiindulási szintet, hogy az átlag 10 ppm-re növekedjék. Vannak azonban olyan területek, mint az a táblázatból látható, ahol a növekedés üteme jelentősen nagyobb és legalább egy megyében (Merrick) már elfogadhatatlan szintet ért el.

Nebraskában fűrási programot indítottak be azért, hogy nyomon kövessék a tápanyag-N és -P mozgását a talajvíz felé különböző ökoszisztémákban. A legfontosabb megállapítások a következők voltak:

a) Nem mutatkozott lefelé irányuló P-mozgás.

b) Az ásványi N a mély regolitban halmozódik fel abban az esetben is, ha a művelés műtrágyák alkalmazása nélkül folyik. A talaj eredeti szervesanyag-tartalmából a mineralizáció révén  $\text{NO}_3\text{-N}$  keletkezik, ami a gyökérszóna alatti rétegekbe mosódik le.



4. táblázat

A nebraskai talajvizek  $\text{NO}_3\text{-N}$  koncentrációjának változása az 1961–62 és 1971–72. közötti 10 éves időtartamban\*

Megye	Vizsgált öntözőkukak száma	Átlagos $\text{NO}_3\text{-N}$ koncentráció		
		1961-62. ppm	1971-72. ppm	Nettó változás %
Deuel	9	3,28	4,64	+41
Holt	5	2,06	6,48	215
Merrick	37	8,70	11,10	28
Seward	23	1,90	3,67	93
Furnas	9	2,54	3,50	38
Keith	10	2,64	3,63	38
47 megye	480	2,53	3,13	24

\*A mintavételezés ugyanazokból a kutakból történt 1961–62-ben és 1971–72-ben, a fő öntözési szezonban.

c) Nehéz talajok öntözése némi, de nem jelentős  $\text{NO}_3\text{-N}$  mozgást eredményez a gyökérzóna alatt, és ebben nyilvánvalóan közrejátszik a denitrifikáció. Öntözött homoktalajokon a talajvíz szintje fölötti regulitban mindenütt jelentős mennyiségű  $\text{NO}_3\text{-N}$  található.

d) Amennyiben a nedvességviszonyok és a talaj fizikai tulajdonságai megfelelőek, a lucerna jól összegyűjti azt az  $\text{NO}_3\text{-N}$ -t, ami a 10–12 m mélységig akkumulálódott.

e) Nagy helyi geológiai  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalékok mutatkoztak a regulitban a gyökérzóna alatt, és ezek az öntözés fejlesztése során jelentős potenciális szennyeződési veszélyt jelentenek. Egy 26 000  $\text{km}^2$  kiterjedésű löszréteg  $\text{NO}_3\text{-N}$  tartalmát 31 m mélységig  $26 \times 10^6$  tonnára becsülték. A löszanyagban ez jelenleg 15 bar nedvességszinten van jelen, és megállapítható, hogy nagyon szignifikáns, fordított arányban áll a löszben található megkötött ammónia mennyiségével. Ez a réteg 5 m-nél mélyebben, egy sohasem trágyázott öggyep alatt fekszik, valamint olyan terület alatt, melyen az elmúlt 70–100 évben öntözés nélküli gazdálkodás folyt.

*Az ásványi nyersanyagkészletek kimerülése*

Több szakember aggodalmának adott kifejezést amiatt, hogy a Föld egyes ásványi nyersanyagforrásait növekvő ütemben használják fel a műtrágyagyártás fejlődésével párhuzamosan. Ez elsősorban a foszfát nyersanyagokra vonatkozik, amelyekből — néhány geológus véleménye szerint — száz évre való készlet van már csak. A foszfor nélkülözhetetlen eleme minden életfolyamatnak és hiánya katasztrofális következményekkel járna. Ismeretes azonban, hogy a világon az alacsony foszfortartalmú kőzetekből igen nagy tartalékok állnak rendelkezésre. Ezeket jelenleg nem gazdaságos hasznosítani, de kiaknázásuk a jövőben érdemesé válik. Az is kétségtelen, hogy a jövőben még további hatalmas készleteket fedeznek fel, amelyek majd alapanyagul szolgálhatnak a műtrágyaipar számára.

Szerencsére a nitrogén gyakorlatilag korlátlan mennyiségben található az atmoszférában és utánpótlását biztosítja a növényi-állati maradványok bomlása a rizoszférában. A nitrogénműtrágyákkal kapcsolatban az az alapvető probléma — mint korábban már utaltunk is rá —, hogy elemi állapotból való megkötése nagy energia-felhasználással jár.

A többi ismert, lényeges növényi tápelemből bőséges tartalékok állnak rendelkezésre a Föld litoszférájában. Ezenkívül a műtrágyaként felhasznált tápanyagoknak jelentős része a talajban marad, sőt még a növények által felhasznált tápelemek egy része is visszakerül a talajba, midőn a növényi maradványok elbomlanak. Nem kell tehát nagyon nyugtalankodnunk amiatt, hogy a műtrágyagyártás kimeríti az ásványi nyersanyagkészletet.

Az ásványi nyersanyagkészletek kimerülése

#### Lehetőségek az élelmiszer — energia — környezetvédelem dilemmájának megoldására

Többféle lehetőség van arra, hogy bizonyos mértékben alkalmazkodjunk az előbbiekben vázolt komoly problémákhoz. Kétségtelen, hogy az emberiség helytelenül kezelte a természeti környezeti rendszereket, és állandóan növelte a nyersolaj felhasználását, mintha az kimeríthetetlen mennyiségben állna rendelkezésre. Talán a legkomolyabb probléma az, hogy a világ népességének száma mértani haladvány arányában növekszik, ez pedig az éhínség ijesztő rémét vetíti a jövőre. A mezőgazdaság jelenlegi kapacitását teljesen fel kell használni ahhoz, hogy ellássa a világ 4 milliárd lakosát 1974-ben. Ha figyelembe vesszük az időjárás szélsőségeit, azt, hogy szárazság, fagy stb. időszakosan komoly veszteségeket okoz a mezőgazdasági termelésben igen sok helyen, s ehhez még az energiaproblémát is hozzászámítjuk, aligha remélhetjük, hogy a 2000-re előrejelzett 7 milliárd ember számára megfelelőek lesz-

nek az életkörülmények. Hogyan tudja majd a világ korlátozott talaj-, víz- és energiakészlete kielégíteni 7 milliárd ember igényét?

#### Szerves hulladékok felhasználása

A jelenleg világszerte észlelhető műtrágyahiányt nagymértékben enyhíthetné, ha műtrágyaként használnák fel azokat a szerves hulladékokat, amelyeket most a lehető legkényelmesebb módon távolítanak el. Nyilvánvaló, hogy minden rendelkezésre álló állati trágyát, amelyet más célra nem használnak fel, a legnagyobb mértékben ki kell használni. A városi szennyvizek jelentős mennyiségű tápanyagot tartalmaznak, és ha fertőtlenítésükkel kiküszöbölik a fertőzés veszélyét, továbbá ha nincs bennük toxikus mennyiségben néhány, az iparból származó nehéz fém, akkor hasznosításuk lehetséges. És természetesen az összes növényi maradvány visszajuttatása a talajba biztosítaná azt a tápanyagmennyiséget, amelyre a következő növény vegetatív részének szüksége van.

Szükségtelen mondani, hogy limitált az a távolság, amelyen belül a szerves hulladékok — mint trágyaszerek — szállítása még gazdaságos, miután ezen anyagok tömege nagy a bennük levő tápanyag mennyiségéhez viszonyítva. Olyan helyeken, ahol nagy mennyiségű szerves hulladék gyűlik össze (pl. városok, nagy állattenyésztő telepek), ésszerűbb lenne a hulladékok átalakítása metángázzá és metilalkohollá [13] vagy olajjá [15]. Ezeket lehetne aztán a továbbiakban energiaforrásként hasznosítani. Nemesabban a folyók és tavak esztétikai látványa javulna, ha nem beléjük kerülne a sok szerves hulladék, hanem a nyert termékek bizonyos fokig pótolhatnák a csökkenő fosszilis üzemanyag-energia készleteket.

Elhangzott pl. olyan vélemény, hogy mezőgazdasági és erdészeti termékei maradványainak átalakítása üzemanyag-energiává Ausztrália teljes energia-szükségletének 5–10%-át fedezhetné [4]. Más számítás azt mutatja, hogy annak a kőolaj-energiának, amely jelenleg az Egyesült Államok áramszolgáltatását fedezi, 50%-a előállítható, ha az Egyesült Államokban az újra feldolgozható szerves hulladék milliárd tonnái olajjá alakítják át [15]. Figyelmet kell azonban fordítani arra, hogy milyen mértékben használjuk fel a növényi maradványokat ilyen célra, mivel fontos szerepet játszanak azoknak a talajmikroszervezeteknek a táplálásában, amelyek a jó talajszerkezet fenntartását segítik elő, továbbá potenciális növényi tápanyagforrást is jelentenek.

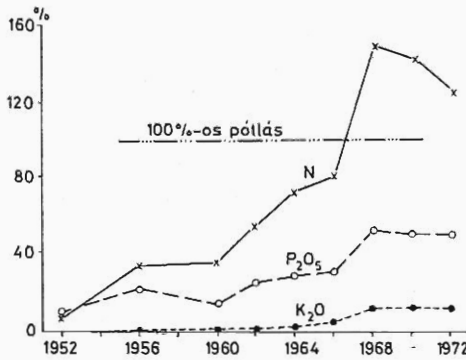
#### A szimbiotikus N-kötés növelése

Ha növeljük a pillangós növények termesztését, a világ jelenlegi, kritikus N-hiánya csökken. Sok pillangós, mint pl. a szójabab, megfelelő oltás esetén képes légköri N-ből megkötni nagy részét, sőt akár teljes egészét saját N-szükségletének, tehát ilyen földeken feleslegessé válik a nitrogénműtrágyázás. További előnyt jelent, hogy ily módon megnövekedik a fehérjetermelés. Ez a fontos tápanyag jelenleg sok területen hiányzik a lakosság étrendjéből. Sajnos, a pillangósok termelésével meg sem közelíthetjük azt a kalóriamennyiséget, amelyet ugyanazon területen gabona termeléssel érhetünk el.

A talaj felvehető nitrogénkészlete növelésének hagyományos módszere a zöldtrágyák alkalmazása. Ez az eljárás rendszerint abból áll, hogy egy tenyészidőszak alatt pillangósokat termesztene azért, hogy azok nagy mennyiségű légköri N-t kössenek meg. Leszántás után a fehérjetartalmú föld feletti részek, valamint a gyökérmaradványok mikrobiológiai nitrifikáció útján biztosítják a következő növények N-szükségletét. Sajnos, ez a módszer nem túl ígéretes a jelenlegi élelmezési problémák megoldásának szempontjából, hiszen a pillangósokkal bevetett földterületen termelhetnének gabonát is. A kérdés egyik lehetséges megoldása az, ha a pillangóst a már beérőfélben levő növény alá vetik úgy, hogy minél jobban fejlődhesen még a következő növény vetése előtt. Természetesen, ez a módszer csak ott alkalmazható, ahol megfelelőek a nedvesséviszonyok, mivel a zöldtrágya növekedése során jelentős mennyiségű vizet vesz fel a talajból. Nagy vízigényük miatt a pillangós zöldtrágyák gyakorlatilag nem játszanak szerepet száraz gazdálkodásban.

Nagy érdeklődést kelt napjainkban az a lehetőség, amely trópusi füvek vizsgálata során merült fel [2], hogy szimbiózis útján gabonafélékben jelentős mennyiségű N köthető meg. Ha lehetséges lenne a magvak beoltása valamilyen megfelelő mikroorganizmussal (*Spirillum* sp.?) és a növény N-szükségletének csak 10%-át biztosítani lehetne ilyen módon, már sem lenne olyan kritikus hiány világszerte ebből a tápelemből. Széles körű erőfeszítéseket kellene tenni olyan növényfajták nemesítésére, valamint olyan N-kötő mikroorganizmusok szelekciójára, amelyek között a kívánt szimbiotikus kapcsolat létre jöhet. Az ilyen úton nyert nitrogén nem enyhítené szükségszerűen a nitrátszennyeződés veszélyét, de gazdasági szempontból rendkívül fontos lenne.





4. ábra

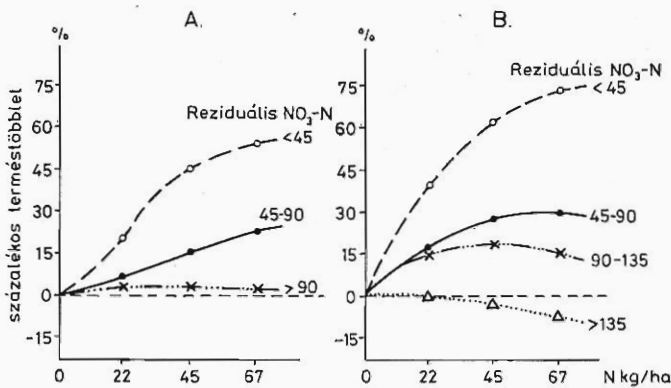
A Nebraskában felhasznált műtrágya-N, -P és -K az összerterméssel kivont tápanyagok százalékában. Függőleges tengely: A műtrágyával pótlott tápanyag a termésrel kivont %-ában.

#### Műtrágyák jobb hasznosítása

Jelentős mértékben lehetne javítani a műtrágyázás hatásosságát és gazdaságosságát. Ez az adagok csökkentésével járna és végeredményben a növénytermelés egy hektárra eső energia-igényének redukálását jelentené. Amikor az 1960-as évek végén a műtrágyák még olcsó áron álltak rendelkezésre, érthető volt, hogy a gazdálkodók a fejlett mezőgazdasági területeken túlzott mértékben alkalmazták ezeket, mivel biz-

tosítani akarták, hogy a kérdéses tápanyaggal jól el legyen látva a növény. Jellemzőek a Nebraskából származó adatok, amelyek szerint 1968-ban kb. 35%-kal több N-t adagoltak ki, mint amennyit a növények kivontak a talajból (4. ábra). Ez a gyakorlat figyelmen kívül hagyja a talaj természetes nitrogén-szolgáltató képességét, a csapadékkal és nem szimbiotikus megkötés útján a talajba kerülő N-mennyiségét és nem utolsósorban a szennyeződés veszélyével is jár.

A világ mezőgazdasági mindinkább egyetértenek abban, hogy a szükséges műtrágya-adagot a talaj tápanyag-készletének és a növény igényének alapján kell kiszámítani, figyelembe véve az előző években adott trágyák utóhatását is. A reziduális nitrogéntartalom jelzi, hogy mekkora N-adag szükséges az őszi búza optimális hozamának eléréséhez (5. ábra). Ugaros búzatermesztésnél szemiarid éghajlati viszonyok között 67 kg/ha N adagolása volt szükséges ott, ahol a talaj 45 kg/ha-nál kevesebb reziduális N-t tartalmazott a 180 cm-es zónában. 45–90 kg/ha reziduális N esetén a szükséges mennyiség 45 kg/ha-ra, 90–135 kg/ha-nál pedig 22 kg N/ha-ra csökkent. Ha a reziduális nitrogén több volt, mint 150 kg/ha, friss N-műtrágya adagolása termésnövekedéssel járt. Az ábra másik része azt mutatja, hogy a fenti megállapítások érvényesek Nebraska szubhumid területeire is, ahol folyamatos növénytermesztés a gyakorlat. További bizonyíték a túl sok N termésnövekedő hatására az, hogy ott, ahol a reziduális N



5. ábra

Növekedő műtrágya-N adagok hatása az őszi búza terméshozamára, a vetéskor a talajban levő (180 cm mélységig), különböző mennyiségű reziduális  $\text{NO}_3\text{-N}$  esetén Nebraskában, 1962–1968 között. (118 szabadföldi kísérlet alapján. Minden görbe 10–20 szabadföldi kísérletet reprezentál.) A. Folyamatos búzatermesztés. B. Ugar – búza. Függőleges tengely: a terméshozam alakulása, %. Vízszintes tengely: N-adag, kg/ha.

meghaladta a 130 kg/ha-t, a 67 kg N/ha adag jelentősen alacsonyabb termésátlagot eredményezett, mint amikor ugyanazt a kezelést az alacsonyabb reziduális N-tartalmú talajokon alkalmaztuk. Szoros összefüggést találunk különböző növények esetében öntözéssel gazdálkodásban is [6].

A tápanyagokkal való jó gazdálkodás egyik útja a megfelelő időben való alkalmazás. Míg a „nem mozgékony” tápanyagokat (pl. P, Mg és K) vetéskor vagy vetés előtt kell alkalmazni, hogy jelenlétük a fiatal növény gyökérszónájában biztosítva legyen, a N-műtrágya alkalmazásánál figyelembe kell venni, hogy a N-t a növény fejlődésének későbbi szakaszában igényli, így hát az adag nagyobb részét fejtrágyaként, a termőidőszak közepe táján érdemes a talajba juttatni [11]. 14 öntözött növénytermesztési kísérlet eredményei azt mutatják (6. ábra), hogy 90 kg nitrogén, melyet sorban, fejtrágyaként adagoltunk az idény közepén, hasonló hatású volt, mint 180 kg vetés előtt adva. Több éves ilyen kezelés után a gyökérszónában a reziduális ásványi N-tartalom nagyobb volt, mint azokon a helyeken, ahol a nitrogénműtrágyát vetéskor adtuk [6]. Nyilvánvaló, hogy egy jól kialakult gyökérrendszer csökkentte a N kimosódási lehetőségét. A rövidebb idő alatt az ammónia szabadabb válása és a denitrifikáció által okozott veszteségek kisebbek.

A műtrágyák alkalmazásának és elhelyezésének módszere befolyásolja mind a veszteségeket, mind a felhasználás eredményességét, tehát nem hagyható figyelmen kívül a leggazdaságosabb adagok megállapításánál. Néhány példa:

1. Ha csak kis P-hiány mutatkozik a talajokban, sortrágyázás esetén fele annyi műtrágyára van szükség az optimális hozam eléréséhez, mintha az egész területre szétszórnánk.

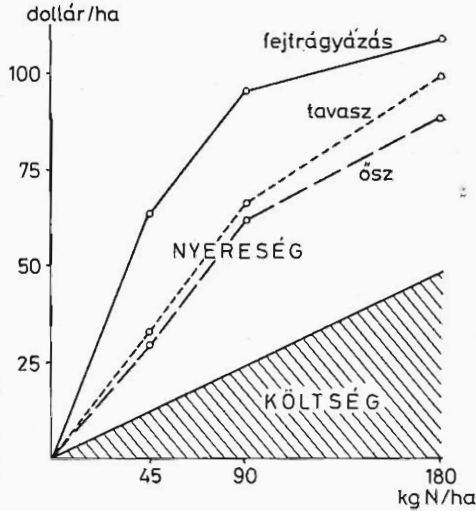
2. A karbamidot azonnal be kell dolgozni a talajba, hogy minimálisra szorítsuk le az ammónia képződésének veszélyét, különösen lúgos talajokon.

3. Az ammónia-anhidridet olyan mélységben kell alkalmazni, amelyet a porozitás, a talajnedvesség és az agyagtartalom határoz meg.

4. A P-műtrágyával adott kis mennyiségű ammónium-ion hatására a növények jobban hasznosítják a foszfort.

5. Ne kerüljön nagyobb mennyiségű vagy magas sótartalmú szilárd anyag közel a maghoz, mert a csírázást gátolhatja stb.

A nitrogénmérleg vizsgálata általában azt mutatja, hogy a természetett növény az adott adagnak alig több mint 50-60%-át hasznosítja [1]. Világos, hogy még sok tanulnivalónk van a nitrogénműtrágyák



6. ábra

A műtrágya-N hatása az öntözött kukorica terméshozamára a műtrágya adagjának és alkalmazása idejének függvényében, 14 öntözött kísérlet átlagában. (Az ökonómiai elemzés az 1965-ös árakon alapul, de az arányok 1974-ben is azonosak.) Függőleges tengely: A műtrágyázással kapcsolatos költség és nyereség, dollár/ha. Vízszintes tengely: alkalmazott N-adag, kg/ha.

hatásos alkalmazását illetően, egyrészt azért, hogy biztosítsuk maximális hasznosulásukat és ily módon elérjük a befektetés maximális megtérülését, másrészt azért, hogy minél nagyobb mennyiséget tartunk vissza a gyökérszónában és elkerüljük a környezetszennyezés veszélyét [7]. A kérdés részletesebb tisztázására a Német Szövetségi Köztársaság az IAEA (Nemzetközi Atomenergia Ügynökség)/FAO Közös Osztályával együtt beindította a nitrogénmaradványok tanulmányozásának programját. A következő 5 év során a kísérleti munkát különböző környezeti körülmények között folytatják majd az NSZK-ban, fejlődő országokban és a Nemzetközi Atomenergia Ügynökség Seibersdorf-i Laboratóriumában, a még ismeretlen összefüggések felderítésére.

Hidrogéntermelés elektrolízis útján

A fosszilis energia jelentős megtakarítása válna lehetségessé, ha az NH<sub>3</sub>-hoz szükséges H<sub>2</sub>-gázt elektromos energiával, víz elektrolízise útján állítanánk elő. A H<sub>2</sub>-termelés túlnyomó része az alacsony áramigényes időszakokban történhetne. Ez a meg-

oldás különösen kedvező, ha a szükséges energiát atomerőművek szolgáltatják, mert nem kellene rövid időközönként növelni, ill. csökkenteni az áramtermelést, a teljes kapacitás folyamatosan kihasználható lenne [16].

#### *Egyéb lehetőségek*

Más változtatások is számba jöhetnek a mezőgazdasági termelésben, amelyek ugyan csak kisebb mértékben segítenék elő a műtrágyázás gazdaságosabbá válását, viszont nagymértékben csökkenthetnék az energiaszükségletet. Az egyik legfontosabb ilyen újítás a „minimum tillage” rendszer, különösen, ha a herbicideket és peszticideket a starter-műtrágyákkal együtt alkalmazzzák. Ez az eljárás lehetővé teszi, hogy a hagyományosnál 4–6 alkalommal kevesebbszer kell nehéz gépeknek a szántóföldre menni, ami nemcsak a talaj tömörülését csökkenti, hanem komoly üzemanyag-megtakarítással is jár.

#### **Összefoglalás**

A jelenlegi energiaválság, amely a mezőgazdasági termelést is korlátozza, egybe esik egy világszerte mutakkozó élelmiszerhiánnyal. A mezőgazdasági termelés kellei közül a műtrágyák előállítására igényli a legtöbb energiát, érthető tehát, hogy a kőolaj árának emelkedésével a műtrágyák is jelentősen megrágultak és gyártásuk lecsökkent. Ez azonban a problémának csak egyik része. Valószínűvé vált ugyanis, hogy a növekvő műtrágya-felhasználás a környezetet szennyeződéssel jár, komoly szerepet játszik az eutrofizációban. A műtrágyából származó, túl nagy mennyiségű  $\text{NO}_3\text{-N}$  felhalmozódhat a növények szárában és leveleiben, valamint az ivóvízben.

Ma már világos, hogy a fosszilis nyersanyag felhasználásának exponenciális növekedése a jövőben nem lehetséges. A mezőgazdaságban is nagyobb figyelmet kell fordítani az energia gazdaságos hasznosítására. Nem szabad azonban figyelmen kívül hagyni, hogy magához az élelmiszertermeléshez jóval kevesebb energia szükséges, mint az élelmiszerek feldolgozásához és szállításához, valamint azt sem, hogy a modern társadalom energia-fogyasztása más területeken összehasonlíthatatlanul magasabb. Bizonyos szemléletbeli változtatásokra van szükség, hiszen az élelem elsődleges szükséglete az emberiségnek.

A műtrágya-felhasználás jóval gazdaságosabb lehet, ha nem hagyunk figyelmen kívül jól ismert agronómiai elveket. Valószínű, hogy a N-műtrágya gyártásánál — ami a mezőgazdaságban a legtöbb

fosszilis energiát igényli — jelentősen csökkenteni lehet a fosszilis nyersanyag mennyiségét. További kutatásokat kell még folytatni, hogy jobban megismerjük és befolyásolni tudjuk azokat a folyamatokat, amelyek során — különböző környezeti feltételek között — a talajban levő műtrágya-maradványok a környezetet szennyezőjévé válnak. Mindenesetre a kutatásnak hozzá kell járulnia ahhoz, hogy az emberiség élelmiszerével, az energia-termeléssel és a környezetvédelemmel kapcsolatos problémák mielőbb megoldódjanak.

#### **Irodalom**

- [1] ALLISON, F. E.: The enigma of soil nitrogen balance sheets. *Adv. Agron.* 7. 213–250. 1955.
- [2] DOBEREINER, J. & DAY, J. M.: Associations of nitrogen fixing bacteria with roots of grass species. Latin American Wheat Conference, Embrapa-Fecotriço-USAID. Porto Alegre, Brazil. 1974.
- [3] FETH, J. H.: Nitrogen compounds in natural waters. A review. *Water Resources Res.* 2. 41–53. 1966.
- [4] GIFFORD, R. M.: Energy, food and agriculture. CSIRO. *Ann. Rep. Plant. Ind.* 1973.
- [5] HARRÉ, A., GARMAN, H. & WHITE, C.: The world fertilizer market. In: Olson, R. A. et al. (eds.): *Fertilizer Technology and Use.* Soil Sci. Soc. Amer. Madison. 1971.
- [6] HERRON, G. M. et al.: Residual mineral N accumulation in soil and its utilization by irrigated corn (*Zea mays* L.). *Agron. J.* 63. 322–327. 1971.
- [7] IAEA. Effects of agricultural nitrates in food and water with particular reference to isotope studies. Panel Proc. Ser. Vienna. 1974.
- [8] JAAG, O.: The main sources of eutrophication of inland waters with special reference to the comparative magnitudes of pollution sources. *Soils Bull.* 16. 235–287. Effects of intensive fertilizer use on the human environment. FAO. Rome. 1972.
- [9] ODÉN, S.: The extent and effects of atmospheric pollution on soils. *Soils Bull.* 16. 179–194. FAO. Rome. 1972.
- [10] OLSON, R. A.: The fertilizer programme of the Freedom-from-Hunger Campaign. In: Bunting, A. H. (ed.): *Change in Agriculture.* 599–605. Duckworth. London. 1970.
- [11] OLSON, R. A. et al.: Using fertilizer nitrogen effectively on grain crops. *Sta. Bull.* 479. Nebr. Agric. Exp. Sta. 1964.
- [12] PIMENTEL, D. et al.: Food production and the energy crisis. *Science.* 182. 443–449. 1973.
- [13] REED, T. B. & LERNER, R. M.: Methanol: a versatile fuel for immediate use. *Science.* 182. 1299–1304. 1973.
- [14] SCHUPAN, W.: Effects of the application of inorganic and organic manures on the market quality and on the biological value of agricultural products. *Soils Bull.* 16. 198–224. FAO. Rome. 1972.
- [15] STEFFGEN, F. W.: Energy from agricultural products. *Amer. Soc. Agron. Spec. Publ.* 22. 23–35. 1974.
- [16] STOUT, P. R.: Agriculture's energy requirements. *Amer. Soc. Agron. Spec. Publ.* 22. 13–22. 1974.
- [17] U. S. National Academy of Sciences. Accumulation of nitrate. Washington. 1972.
- [18] VIERS, F. G. Jr.: Water quality in relation to farm use of fertilizer. *Bio-Science.* 21. 460–467. 1971.
- [19] World nitrogen fertilizer market outlook. T. V. A. *Circ.* Z–50. 1974.

R. A. OLSON

Nebraskai Egyetem, Lincoln,  
Nebraska (U. S. A.)

Érkezett: 1975. augusztus 11.