

A tartamtrágyázási kísérletek történetéről és jelentőségéről

A talaj trágyaszükségletének és termékenységének vizsgálatában a szabadföldi kísérletek alapvetőek. Az agrokémiai ismereteink jelentős része, - amelyek a talaj-trágya-növény rendszerre vonatkoznak -, a szabadföldi kísérletekkel kapcsolatosak. Az agrokémia klasszikusainak munkái: Boussingault, Lawes és Gilbert, Kühn, Kristensen, Wagner, Engelhardt, Mendelejev, Prjanisnyikov, Cserhádi stb. gyakran összefonódnak a szabadföldi kísérletekkel. A szabadföldi kísérletek történetét, módszertanát és az adatok statisztikai értékelését olyan munkákban kísérhetjük nyomon, mint LEMMERMANN /1925/, MITSCHERLICH /1929, 1930/, BAULE /1920, 1953/, ROEMER /1930/, COCHRAN és COX /1950/, FISHER /1951/, SCSERBA /1954/, BERGMANN /1958/, stb.

Szabadföldi kísérletek kialakulása és az agronómiai tudomány

A tudományos problémák kísérleti úton történő megválaszolásának alapelve tulajdonképpen a középkort követően egyre elfogadottabbá válik. A növényi élettan korai klasszikusai a vízkultúrát, tenyészedénykultúrát alkalmazzák abból a célból, hogy a növényi növekedés alapelveit /principiumait/ tisztázzák. Gyakran vallják: "egyetlen út az igazsághoz a megfigyelés". Ezek közé tartozott Bacon /1561-1624/, Helmont /1577-1644/, Glauber /1604-1668/, Boyle /1627-1691/.

Az ekkor alkalmazott kísérleti technika még meglehetősen durva volt és mai szemmel nem neveznénk tudományos kutatásnak. Helmont pl. öt éven át fűzfát nevelt egy 90 kg tömegű talajban, amihez csak vizet adott. Arra a következtetésre jutott, hogy a növények egyedüli tápláléka a víz, mert a 60 g talajtömeg csökkenését tévesen kísérleti hibának minősítette. Valójában a fűzfa növekedése során ásványi anyagot használt fel a talajból, ill. épített be testébe. Ingenhouse /1730-1799/ kimutatta később, hogy a levegő "megtisztulása", azaz széndioxid-tartalmának csökkenése a fény jelenlétében megy végbe. Senebier /1742-1809/ pedig kijelentette, hogy Helmont fűzfájának súlygyarapodása döntően a levegőből származott.

A legtöbb új felfedezés a kémia, fizika, élettan terén történik az 1700-as évek végén, és ezek lassan tisztázzák a növényi élet működését. Ezen ismereteknek azonban alig volt kihatásuk a mezőgazdaságra. Az 1800-as évek elején azonban minőségi változás történik. A felhalmozott ismereteket precízebb technikával kísért vizsgálatokkal bővítik ki és De Saussure /1767-1845/ már képes átfogó elméletet adni, kísérletesen bizonyítva a légzés és a fotoszintézis mechanizmusát. Igazolta, hogy a szén a levegőből, míg a növények hamuja és nitrogénje a talajból származik. Ezek az ismeretek már érintették a mezőgazdaságot és rövidesen megkezdődik alkalmazásuk az agronómiában. Hamu-

elemzésekkel pl. azt is megállapította, hogy a növényi alkotórészek minden eleme a humuszban is megtalálható.

Boussingault /1802-1882/ az első, valóban kísérleti állomásnak nevezhető intézményt hozza létre 1834-ben a francia Elzászban. Szántóföldi kísérleteit, amelyek a trágyázás és a vetésforgó kérdéseire vonatkoztak, gondosan megtervezte. Ezen felül saját gazdaságában laboratóriumot is felállított. Lemérte és analizálta a parcellákra adagolt trágyákat és az onnan betakarított terményeket, tápanyagmérlegeket felállítva. Elsőként bizonyította, hogy a pillangósok képesek a levegőből nitrogént felvenni.

Természetesen BOUSSINGAULT /1854/ nem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás kísérleti technikát alkalmazta. Ez a technika tulajdonképpen egy hosszú fejlődés eredménye, és általánosan elfogadottá csak a század elején vált. Mégis őt tekinthetjük a szabadföldi kísérletezés atyjának, mert:

1. A szabadföldi kísérletezést összekapcsolta a talaj- és növényvizsgálatokkal, tápanyagmérleggel. Ezzel tudományos módszerré avatta.

2. Vizsgálatait tartamjelleggel végezte. Felismerte, hogy az agronómiai és a talajtermékenységi kutatásokban az időtényező szerepe meghatározó, tudományos eredmények csak sokéves vizsgálatokból szűrhetők le.

Liebig /1803-1873/ ugyan nem végzett szabadföldi kísérleteket, de közvetetten döntő befolyással volt azok elterjedésére. Szintetizálta kora tudományos eredményeit /kémia, élettan/ és az agrártudományt alkalmazott természettudománnyá avatta. A mezőgazdaság Liebig előtt vagy Liebig után kb. olyan jelentőségű meghatározás az agrokémia területén, mint a keresztény világban a Krisztus előtti vagy utáni időszámítás - jegyzi meg SALMON és HANSON /1964/.

LIEBIG /1840/ újszerű nézetei nagy vitákat váltottak ki, követői és ellenfelei egyaránt igyekeztek kísérletekkel igazolni álláspontjukat. LIEBIG Giessenben laboratóriumot létesített és oktatott, felhívta a figyelmet a mezőgazdasági kutatás szükségességére.

A Rothamstedi Kísérleti Állomás London mellett 1843-ban létesült Lawes /1814-1900/ birtokán. A kísérleti munkák irányítását Liebig egyik tanítványa, Gilbert /1817-1901/ végezte. Az 1843 és 1856 között beállított kilenc tartamkísérletből nyolc többé-kevésbé változatlan formában ma is folyik "Rothamsted Classical Experiments" néven /GUIDE, 1984/.

A Rothamstedi Kísérleti Állomás az agrokémikusok Mekkája, az agrokémiai ismereteink egyik jelentős forrása. A kísérletek még nem a kisparcellás ismétléses technikát jelentették, hanem a Boussingault által Franciaországban kidolgozott mintára épültek. Az állomás megalapítása után 12 évvel Lawes és Gilbert az alábbi fontos következtetésre jutottak /TISDALE és NELSON, 1966/:

1. A gazdasági növényeknek szükségük van foszforra és káliumra, de a növényi hamu összetétele nem kritériuma a növény által igényelt mennyiségnek, mint ahogy azt Liebig mechanikusan gondolta. /Tehát a tápelemigény és a trágyaigény nem ugyanaz./

2. A légköri ammónia-nitrogén nem képes fedezni a nempillangós növények nitrogénigényét, mint ahogy azt Liebig vélte. A pillangós forgók többlet nitrogénje a levegőből származik, ahogyan azt Boussingault is bizonyította. /Persze a hogyanra nem kapunk választ, a gyökérgümők és a bennük élő N-kötő baktériumok tevékenysége ekkor még nem ismert./

3. Az ugarolás kedvező hatása gyakran éppen a talajban lévő nitrogénvegyületek felhalmozódásában rejlik. Liebig /PK/ és Boussingault /N/ gondolatát egyesíteni kell.

4. A talajok termékenysége fenntartható pusztán műtrágyákkal.

Az utóbbi megállapítást sokan még ma is vitatják. Az ásványi teória azonban véglegesen győzedelmeskedett.

A kémia és az élettan eredményei megtermékenyítették az agronómiát. Közben Boussingault is közölte trágyázási kísérleteinek újabb eredményeit 1854-ben, megerősítve a rothamsted-i kísérletek tanulságait.

A hitelesség érdekében meg kell jegyeznünk, hogy Liebig előtt már mások is felvetették az államilag fenntartandó szabadföldi kísérletek fontosságát. Haselhoff idézi Thaert /cit. in: DELLER, 1988/: "Ilyen kísérletek nagy számban való beállítására az egyes ember erejét meghaladja, ezért az állam dolga lenne felnövelt férfiakat olyan helyzetbe hozni, hogy idejüket és tehetségüket teljesen a természet kutatásának szentelhessék, ezzel a mezőgazdaság és az általános jólét javát szolgálják."

Németországban az első mezőgazdasági kísérleti állomás 1851-ben létesült Lipcse mellett Möckernben. Nobbe szerint /cit. in: DELLER, 1988/ alig 15 évvel később már 21 kísérleti állomás működött Németországban. Természettudomány-történeti fontossággal bír, hogy a kísérletek eredményeit rendszeresen és szervezeten megvitatták az akkori szakemberek. A véleménycserét szolgálták az 1858-ban megalapított "Die landwirtschaftlichen Versuchsstationen" folyóiratok, valamint a vándorgyűlések. Az első vándorgyűlést 1863-ban szervezték Lipcsében, Möckern mellett. WOLFF /1864/ összeállította a talajvizsgálatok módszereit, azokat a kémiai és fizikai módszereket, amelyeket alapjaiban ma is használunk.

Az Egyesült Államokban 1875-ben létesül az első ilyen intézmény a Connecticut-i Mezőgazdasági Kísérleti Állomás, Liebig egyik tanítványa, Samuel W. Johnson vezetésével. A kutatás és a szakoktatás állami feladattá válását korábban már jelzi az 1862-ben a Kongresszus által elfogadott Morrill-Törvény a mezőgazdasági főiskolák alapításáról, majd ugyanez évben az U. S. D. A. /Mezőgazdaság Minisztérium/ megszervezése és végül 1887-ben az egyetemek mellett működő mezőgazdasági kísérleti állomások hálózatának létrehozását megalapozó Hatch-Törvény. A Smith-Lever-Törvény 1914-ben létrehozta az egyetemi rendszerben a szaktanácsadás és a felnövelt továbbképzés szervezetét Cooperative Extension Service néven, a kutatás-oktatás-szaktanácsadás hármaskörét biztosító. A szabadföldi kísérletezésre mindhárom tevékenység támaszkodik.

KLECSKOVSKIJ és PETERBURGSZKIJ /1964/ szerint Mendelejev, a periódusos rendszer megalkotója vezette azt a nagy műtrágyázási akciót, amelynek során minden akkor ismert fontos műtrágyát kipróbáltak Oroszországban 1867-1869 között. A szabadföldi kísérletek a moszkvai, peterburgszki, szimbirszki és szmolenszki kormányzóságban folytak egységes metodikával. Az analízisek kiterjedtek nemcsak a műtrágyák, hanem a talaj és a termés vizsgálatára is. A kísérleti adatokat, talán elsőként a világon, statisztikai próbáknak is alávetették. A kollektíva tagja volt Timirjazev /1843-1920/ is, akinek tanítványa Prjanisnikov /1865-1948/ folytatta később e munkát.

Érdemes megemlíteni, hogy ekkor ismerte fel az orosz agronómia-agrokémia a trágyák hatásában a zonalitás jelenségét. Az istállótrágya mindenütt hatásosnak mutatkozott, a foszfor a csernozjomában hatásos, míg a nitrogén és a mézstrágyázás a podzolokon. A káliumot a gyökérgumósok és a pillangós fűvek hálálták meg. Mendelejev arra a következtetésre jutott, hogy "... szinte minden talaj alkalmassá tehető a kultúrnövények természetére és termékenységük növelhető trágyázással, mert ezzel a talaj hiányosságait pótolhatjuk. A nálunk szokásos termések nemcsak könnyen megduplázhatók ily módon, hanem három- és négyszeresére is növelhetők." /in: KLECSKOVSKIJ és PETERBURGSZKIJ, 1964/.

Szabadföldi kísérletek és a hazai agronómiai, agrokémiai iskola fejlődése

A kémia történetét elemezve Magyarországon SZABADVÁRY és SZŐKEFALVI /1972/ kiemeli, hogy a porosz utas fejlődés mellett ipari kutatás alig van a múlt század második felében. Ugyanakkor működik a jól kiépített állami kutatóintézeti hálózat, amelynek egyetlen ága volt: a mezőgazdaság. A kutatás

eredménye szinte kizárólag a nagybirtoknak jelentett hasznot, a nagybirtokosok a nemzetközi piacon való versenyképességhez szükséges tudományos kutatás költségeit az államra hárították át. Ez a körülmény elsősorban a mezőgazdasági kémia fejlődésére hatott üdvösen.

A hazai tudományos igényű talajtermékenységi - agrokémiai kutatások ismertetését a Cserhāti-iskola munkásságával kell kezdenünk. CSERHÁTI és KOSUTÁNY /1887/ legátfogóbban a "Trágyázás alapelvei", valamint CSERHÁTI /1900/ "Növénytermelés" című könyvükben foglalják össze a növénytáplálás terén elért elméleti és gyakorlati eredményeket, a hazai trágyázási kísérletek tapasztalatait a múlt század végén.

Szerintük a talaj tápanyagai nyers vagy összes, és kész vagy felvehető állapotúak lehetnek. Az összes tápanyag a talajgazdagságot, a felvehető a talajerőt jelenti. A talajerőtől függ a termés nagysága és állandósága, melyet trágyázással és főként a talaj-humusz megfelelő mállási sebességének biztosításával /műveléssel, ugarolással/ tartunk fenn. A talajok tápanyag-állapotáról szabadföldi kísérletek útján tájékozódhatunk. A talajelemzés arra válaszolhat, írják, hogy egy adott tápelem a talajban előfordul-e vagy sem. Mennyi valójában a felvehető, ill. mennyi fog feltárulni, arra csak a növény válaszolhat.

Cserhāti szkepticizmusa érthető. Az akkori talajelemzési eljárások zöme viszonylag tömény savakat és lúgokat használ oldószerül, amikkel inkább a talaj "nyers" tápelemekészletéről tájékozódhatunk, semmint a "talajerőről". Nem állt rendelkezésre a talajról és a növényről az az ismeretanyag, amely lehetővé tette volna a talajvizsgálati és a termésadatok közötti érdemleges összefüggések feltárását, a talajvizsgálati adatok kalibrálását. A növényelemzés hatékony alkalmazásához nem tisztázódtak még a növényi tápelemfelvételi mechanizmusai, amelyek alapul szolgálhattak volna a megfelelő mintavételi eljárások és ellátottsági határértékek kidolgozásához stb. Több mint fél évszázadra volt szükség, hogy a tudomány e hiányosságokat pótolja és a gyakorlatban is használható módszertant ajánlhasson.

Az említett tényezők hozzájárultak ahhoz, hogy a figyelem középpontjában a szabadföldi kísérletek álltak. A kísérletek célja a trágyahatás lemérése, tehát az egyéb termésbefolyásoló tényezőket azonos szinten kell tartani. Az időjárás befolyásolja a tárgyahatásokat, az egyéves kísérlet ezért nem kísérlet - írja Cserhāti. A szabadföldi kísérletek alatt nem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás trágyázási kísérleteket érti, hanem minimum 0,5 kh területű üzemi parcellákat, ahol már "azonos feltételeket tudunk biztosítani" a talaj, a vetőmag minősége, a vetés sűrűsége stb. tekintetében. Tehát valójában üzemi próbákról volt szó.

A tenyészedény- és kisparcellás kísérlet, Cserhāti véleménye szerint az alapkutatóást szolgálja, de az adatokat a gyakorlatba átvinni, a terméseredményeket hektárra átszámítani "szédelgés". A tenyészedény-kísérletekre ez a megállapítás ma is elfogadható, ami azonban a kisparcellás kísérleteket illeti, nem tekinthető teljesen helytállónak. A kisparcellás kísérleti technika ma már egzakt tudományos alapon áll, módszertana kidolgozott. A kézi vetés, művelés stb. helyét átvette a gépi agrotechnika, amely azonos körülményeket biztosít az egész kísérleten belül. A talaj mikroheterogenitását mintavételi módszereink figyelembe veszik, statisztikai becsléseink alkalmasak arra, hogy biztonsággal megítélhetjük a véletlen /hiba/ nagyságát és a kezelések közötti különbségeket.

A két világháború között, az 1930-as évek elején indult az első nagy-szabású, már talajvizsgálatokkal is összekapcsolt műtrágyázási akció hazánkban. Rossz maradt azonban a kísérleti technika, Továbbra is viszonylag nagy parcellákkal dolgoztak, a talaj homogenitása egy kísérleten belül nem volt biztosított. A kísérleteket évente más-más helyen állították be, ill. csak egy évig folytatták. Érdemi trágyahatásokat nem tudtak regisztrálni. Az eredménytelenség okainak elemzése lehetővé tette azonban a továbblépést, az elvi és módszertani tisztázatlanságok felszámolását.

A tapasztalatokon okulva, az 1930-as évek végétől VÁRALLYAY /1950, 1954/ saját kezdeményezéséből mintegy 125 kísérletet indít az ország különböző tájain, eltérő talajtípusokon. Ezek a kísérletek már kisparcellás, ismétléses és statisztikailag értékelhető kísérletek voltak. A kezelések egyszerűsített klasszikus tápanyaghiány-kísérletek. Kezelései: kontroll, N, P, K, NP, NPK. A műtrágyaadagok átszámítva mintegy 40 kg N, 60 kg P₂O₅ és 80 kg K₂O mennyiséget jelentettek hektáronként. A talajmintavétel sorozatonként 1-1 átlagmintával történt, a műtrágyahatásokat pedig forgóban vizsgálta, több éven át egy helyen.

A műtrágyahatásokat elemezve megállapítást nyert, hogy az átlagos P-hatás csekély, mintegy 8 % a 125 kísérlet átlagában. Egyes talajokon a hatás 12-14 %-ra emelkedik /Duna öntés, mezősegi vályog/. Ha a típuson belül tovább finomítunk az ellátottsági határértékek szerint, akkor 17-21 %-ra emelkednek a P-hatások, amelyek már igen gazdaságossá tették a P-műtrágyázást. A növény figyelembevételénél a P-hatás tovább nőtt, legjobban a kalászosok reagáltak, majd a burgonya, míg a kukorica alig reagált a P-műtrágyázásra.

A K-hatásoknál hasonló törvényszerűséget figyelhettünk meg. Az átlagos hatás kicsi, 8 % körüli. Típus szerint elkülönítve eléri a 16 %-ot is, a határértékek szerinti finomítással pedig a 28 %-ot. Nagyon fontos a növénycsoport figyelembevétele. Míg az átlagos hatás a kalászosoknál 5 % körüli, addig pl. a burgonyánál 12 %. Ebből kifolyólag Várallyay külön határértékeket állapít meg a kalászosokra, amely érték alatt trágyahatás várható /7,5 mg % K₂O/ és külön a kapásokra /15 mg % K₂O/. A nitrogén átlaghatásai viszonylag nagyok, 17 %, tehát alkalmazása még akkor is igen gazdaságos, ha az sablonosan történik. "Nem a szuperfoszfát a magyar föld műtrágyája, hanem a pétisó" - állapítják meg a kísérletezők, hisz még pillangósok után is jelentős N-hatásokat kaphatunk.

Az 1950-es évek második felében, ill. az 1960-as években beállított szabadföldi kísérletek egy részében a műtrágyák és az istállótrágya hatását hasonlították össze. Ezek a kísérletek a gyakorlat által felvetett egyik fontos kérdésre adtak pozitív választ. Különböző talajokon és vetésforgókban igazolták, hogy istállótrágyázás nélkül, csak műtrágyákkal is növelhető, tartósan fenntartható a talaj termékenysége. A műtrágyák termésnövelő hatása nemcsak elérheti, hanem - a műtrágya-N jobb hasznosulása miatt - meg is haladhatja az azonos tápanyagtartalommal rendelkező istállótrágya hatását.

A szabadföldi kísérletek nagyobbik részében, közvetlenül az említett istállótrágya és műtrágya összehasonlító kísérletekben is, a fő cél az optimális műtrágyaadag meghatározása volt, tehát a műtrágyaigény becslése. A különböző tájakon, talajokon beállított adag-arány kísérletek általában a klasszikus tápelemhiány sémával, 3-6 ismétléssel, tartamjelleggel folytak eltérő növényi sorrend mellett, hogy az időjárás és a növényváltás műtrágyaszükségletet módosító hatását is megbecsülhessék és stabil, megbízható recepturákat adjanak tájra, talajra, növényre. E munkákat jól foglalja össze a "Trágyázási Kísérletek 1955-1964" című, az Akadémiai Kiadó gondozásában megjelent kiadvány /Szerk.: SARKADI, 1967/.

A kísérletek alapvetően tehát nem azt a célt szolgálták, hogy a talajvizsgálati vagy a növényelemzési adatokat teszteljék és kalibrálják, mint Várallyaynál, hanem közvetlenül trágyaigényt határozzanak meg. A megállapított optimumok kezdetben felhasználható irányszámokat adtak a gyakorlatnak: tájra, növényre, esetleg talajtípusra finomítva az átlagos trágyaigény becslésében. A táblaszintű, konkrét becslésre természetszerűleg nem adhattak útmutatást.

Az 1960-as években azonban a helyzet folyamatosan megváltozott. Az intenzív műtrágyázásra való áttéréssel megváltozott a táblák tápanyagállapota, heterogénebbé váltak. Egyazon tájon, talajtípuson és üzemen belül is egya-

ránt találhatunk igen alacsony felvehető tápelemtartalmú és termékenységtől táblákat és fordítva, tápanyaggal igen jól ellátott termékeny táblákat az eltérő műtrágyázási gyakorlat, a trágyázási múlt függvényében.

Az adag-arány kísérletek műtrágyaszükségletet becslő, informatív jellege fokozatosan csökkent, eredményeik egyre kevésbé általánosíthatók tájra és talajra. Nem mondhatjuk, hogy pl. a "dunántúli mezősegi vályog" talajokon nagyok a P-műtrágyahatások. Melyik mezősegi vályogról van szó? Ahol az AL-P-tartalom 40-50 ppm, vagy ahol 300-400 ppm?

A típust, mint eltérő talajtulajdonságok hordozóját: pH, mészállapot, kötöttség, humusztartalom stb., a tápelem-ellátottsági határértékek kialakulásában vehetjük egyrésztől figyelembe, amennyiben e talajtulajdonságok határértéket módosító szerepét kísérletesen megismertük. A korábban beállított adag-arány tartamkísérletek egy részét sikerült megőrizni az alap kutatás számára, és felbecsülhetetlenül fontos adatokat szolgáltatnak a tartós műtrágyázás talajra és növényre gyakorolt hatásáról. Más részüket átalakították úgy, hogy pl. a "régie" és az "új" P-hatásokat összevethessék, az eltérő trágyázási múlttal rendelkező parcellákra új hatásgörbét húztak és így egy kísérleten belül tesztelhető a vizsgált elem hatásgörbéje, optimuma a talaj eltérő tápelem-ellátottsága, ill. felvehető tápelemtartalma függvényében. Tehát kalibrációs kísérlettel alakultak /SARKADI és KÁDÁR, 1974/.

Később kísérletek történtek arra, hogy a talaj eltérő tápelem-ellátottságát egyszeri műtrágyázással, ún. feltöltő-melioratív adaggal alakítsák ki és megbecsüljék egyenértékét a lassú feltöltéssel szemben. Választ kerestek arra a kérdésre, hogy mennyi műtrágyával lehet egy adott talajt a "gyenge" ellátottsági kategóriából a "jó" ellátottsági tartományba emelni stb. Ezekben a kísérletekben egyre több adat gyűlik össze, a nagyadagú műtrágyázás, a túltrágyázás esetleges talajtermékenységet károsító, növényhozamát és minőségét károsító, betegségekkel szembeni ellenállóságát csökkentő hatásáról is.

A szabadföldi kísérletek célja, előnyei és hátrányai

A szabadföldi kísérletek célja különbségek megállapítása az egyes kezelések között. Kezelések alatt érthetjük az összehasonlítandó fajtákat, műtrágyaadagokat vagy formákat, művelési módokat stb. MUDRA /1952/ a szabadföldi kísérleteket két nagy csoportra osztja:

- azonos körülmények között genetikailag eltérő növényeket, vagy
- genetikailag azonos növénycsoportokat eltérő körülmények között hasonlítanak össze.

Az első csoportba a fajtaösszehasonlító kísérletek tartoznak, ahol előszörban a hozamokat vizsgálják. Mivel a hozam a külső tényezőknek is függvénye, a kísérletek gyakran összefonódnak. Ekkor komplex kísérletekről beszélünk /WAGNER, 1959/.

A szabadföldi kísérletek a biológiai módszerekhez tartoznak, mert alapjául az élő szervezet reagálása szolgál a külső tényezők hatására. Gyakran azt a növényt "kérdézzük", melyre a vizsgálat eredményeit alkalmazni fogjuk. A legrégebbi és "legtermészetesebb" módszer, mert a vizsgálatok a termeléshez hasonló talajtani-agrotechnikai-éghajlati körülmények között folynak.

A már klasszikusnak tekinthető irodalom /CSERHÁTI, 1900; LEMMERMANN, 1925; SCSEBBA, 1954/ azonban túlhangsúlyozza a termelési körülményekhez való hasonlatosság fontosságát. Így pl. SCSEBBA /1954/ szerint a szabadföldi kísérlet értékét, minőségét, adatainak használhatóságát az alábbi követelmények határozzák meg:

1. Reprezentálja azokat a körülményeket, ahol eredményeit felhasználni kívánjuk. Tehát az adott tájra, talajra, agrotechnikai színvonalra /a várható színvonalra/ tipikus legyen.

2. A pontosság követelménye. A véletlen jelenségek miatt mindig csak a valóság közelítését kapjuk. Minél pontosabban dolgozunk azonban, és minél kisebb a hiba, annál megbízhatóbb választ nyerhetünk a feltett kérdésre.

A reprezentativitás, a tipikusság követelménye módosult napjainkban. A fejlődés a mezőgazdaságban is felgyorsult. A szabadföldi kísérletek ugyanakkor lassúak, több éves munkával nyerhetők gyakran csak megbízható információk. Amíg a kísérleti adatok kiértékelése, közzlése megtörténik, megváltozhatnak a fajták, a termesztés körülményei stb. A tipikusság követelménye fontos volt amikor a kísérletek közvetlenül trágyaigényt határoztak meg a gyakorlat számára, a talaj- és növényvizsgálatok még nem nyújtott megbízható alapokat a tapasztalatok általánosításához, átviteléhez.

E módszer hátrányai között említhető, hogy eredménye a konkrét talaj- és éghajlagi viszonyokra korlátozódik. Részletes talajtani jellemzés szükséges ahhoz, hogy a trágyázási vagy meszezési tapasztalat átvihető legyen, ezért célszerű a szabadföldi kísérlethez más agrokémiai módszereket is /mint pl. talajvizsgálat, növényelemzés, esetleg tenyészedény-kísérlet stb./ felhasználni és kombinálni. Ez a lefedés, komplexitás általában csak a kísérleti állomásokon, kutatóintézményekben valósulhat meg. A tudományos igényű folytatott szabadföldi kísérletezés a talajtermékenység és a növénytermesztéssel kapcsolatos alapösszefüggések megismerésére irányul.

A trágyahatások megítélésében olyan tényezőket is figyelembe kell vennünk, amelyek a talaj tápanyagainak felvehetőségét befolyásolhatják, vagy közvetlenül behatárolhatják a termésszinteket: termőréteg vastagsága, talaj szerkezete, éghajlat, talaj vízgazdálkodása, biológiai aktivitása, művelés, agrotechnika színvonala, fajta stb. Az említett sokféle tényező egzakt szám- szerű mérésére természetszerűleg általában nincs módunk, azonban feltárhatók azon tényezők, amelyek nagy valószínűséggel korlátozók lehetnek vagy voltak /pl. egy hosszan tartó szárazság vagy betegség stb./.

Az elmondottak ellenére a legbiztosabb feleletet ma is a szabadföldi kísérlet adhatja pl. arra, hogy:

- Milyen tápelemet igényel egy talaj, illetve mely növénynél számíthatunk trágyareakcióra az adott termesztési feltételek között?
- Mely trágyaforma és milyen trágyázási mód hatékony, illetve milyen a gazdaságos trágyaadag nagysága?

A szabadföldi kísérletek előnyeit és hátrányait ROEMER /1930/, LEMMER-MANN /1930/, BERGMANN /1958/ alapján az alábbiakban foglalhatjuk össze.

Előnyei:

- A trágyaigény becslésére legtermészetesebb módszer, mert a kísérlet a "termőtalajon" folyik.
- Figyelembe veszi a termőhely olyan tulajdonságait /mint az altalaj és a talaj biológiai aktivitása/, amelyeket más módszerek alkalmazásánál jelentősen megváltoztatunk vagy eliminálunk /pl. talaj roncsolása, kirázása kémiai analízissel/.
- Magában foglalja a "talaj-klima-növény" tényezőkomplexumot mint egy egész rendszert és különböző növényfajokkal tesztelhető.
- Tükrözi ezen kívül a talaj vízháztartását /vízbefogadó- és víztároló képesség/.
- Nem igényel semmiféle laboratóriumi háttérrel, tapasztaltabb gazdának helyszíni útmutatást adhat.

Hátrányai:

- A feltett kérdésre csak utólag, az aratást követően kaphatunk választ és szigorúan véve csak azt mondja meg, mi lett volna helyes a múltban, nem pedig azt, hogy mi lesz a helyes adag a következő évben.

- Többéves eredményekre van szükség, mert az egyéves hatások bizonytalanok lehetnek. Minden szabadföldi kísérlet legfőbb hiányossága a bizonytalan reprodukálhatóság.

- A felvehető tápelemek mennyiségét /"b" érték/ csak akkor számolhatjuk ki, ha jelentős terméskülönbségeket mérünk az NPK- és a hiánykezelések termésében.

- A jól ellátott talajon sokáig nem tudjuk meg, hogy a talaj tápelemkészlete meddig képes a magas termést biztosítani, mikorra várhatók a trágyahatások. Az esetleges túl magas tápelemkészlet /túlsúly/ sem azonosítható, csak a hiány.

- A kísérlet eredményei elvileg csak az érintett kísérleti területre igazak. Részletes talaj- és növényvizsgálatok nélkül a trágyázási tapasztalatok nem vihetők át, nem általánosíthatók, csak szigorúan azonos feltételek mellett igazak.

- Csak egy adott kísérleti növényre vonatkozik /növényfajra, sőt fajtára/.

- Erősen időjárás-érzékeny és az ebből eredő károsodások, mint a téli kifagyás, késői fagykarak, jégeső, szárazság, időjárás okozta megdőlés stb. az eredményeket torzíthatják.

A félresikerült kísérletek 20-50 %-át ROEMER /1931/ az időjárási tényezőknek tulajdonítja. Ehhez jöhetnek még a különféle betegségek és kártevők által okozott terméskiesések. Különösen nehéz kísérletezni az extrém talajokon, ahol a kedvezőtlen időjárás értékelhetetlen eredményekre vezethet, pl. a futóhomoki kísérleteinkben a szélverés, hosszan tartó szárazság miatt. A termés, illetve a trágyahatások az említett különböző tényezők hatáseredejét tükrözik. Elhanyagolásuk hamis következtetésre vezethet. Így pl. a nitrogén hatására nőhet jelentősen a hozam, azonban itt a rovarkártétel is hatványozottabb lehet. Az eredmény: a trágyahatás esetleg elmarad, ill. nem kimutatható betakarításkor. Megfelelő növényvédelemmel párosítva azonban a pregnáns N-hatás realizálható.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy ma sem ismerünk a gyakorlatban jobb módszert egy adott tábla trágyaigényének megállapítására, mint a szabadföldi kísérletet. A talaj felvehető tápelemkészletére vonatkozóan azonban nem nyújt elégséges információt, drága és nehézkes, tapasztalatai nem általánosíthatók. Alap kutatáson túlmenően elsősorban a talaj- és növényvizsgálatok kalibrálásában helyettesíthetetlenek. A talaj- és növényvizsgálatok lehetnek azonban azok a tapasztalatátviteli eszközök, amelyek segítségével a táblaszinten a talaj és a növény trágyaigénye becsülhető. A szabadföldi kísérletek adatai csak akkor hasznosulhatnak, ha szakszerűen történt beállításkor, megfelelő pontossággal folytatták le és értékelték. Eltérő esetben csak sok kidobott pénzt, időt és munkát jelenthetnek.

A szabadföldi kísérletek főbb típusai

A szabadföldi kísérleteket különböző szempontok szerint osztályozhatjuk, mint pl.:

- Tartamjellegük alapján /egyéves, többéves, ún. "örök" kísérletek/.
- Parcellák mérete alapján /nagy-, kis- és mikroparcellás/.
- Összetettséjük alapján /egyszerű üzemi, vagy bonyolult alap kutatást szolgálók/.
- Kísérletsorozatok egységes sémákkal földrajzi-talajtani elvek alapján stb.
- Céljuk alapján /hatásgörbe-vizsgálat, új műtrágyák összehasonlítása stb./.

Az agronómiában a fizikai, kémiai és biológiai hatások és kölcsönhatások összegeződnek. Ilyen bonyolult rendszer tudományos vizsgálatánál, ami-

kor számszerű összefüggést keresünk valamely változója és a termés nagysága között, a változó vagy változók különböző szintjével kezelést végzünk és mérjük a kapott termést. Amennyiben a vizsgálandó összefüggést más tényezők is befolyásolják /gyakrabban ezzel számolunk/, szükséges, hogy:

- az egyéb tényezők szintje változatlan maradjon és ezen a "standard" szinten végezzük a vizsgálatot, vagy
- kiegészítő kísérlettel meghatározzuk az egyéb befolyásoló tényezők módosító hatását /kölcsonhatásokat/ a rendszerben.

Kísérletesen azonban legtöbbször nincs lehetőségünk kimerítő vizsgálatokra, ezért beiktathatjuk a vizsgálandó tényezők néhány szintjét, amelyek általában a természetben is előfordulnak. A növénytermesztési rendszerekben egyaránt előfordulnak kontrollált és nem kontrollált /pl. időjárás/ változók, azon belül diszkrét és folytonosak. Mivel a szabadföldi kísérletek nehézségek és költségesek, gyakran megelégszünk olyan egyszerű kísérleti tervekkel, amelyek a bonyolult rendszer egy elemét sem képesek átfogóan jellemezni, mint pl. az alapvető három fő tápelem közötti kölcsönhatások felderítését.

Az előbbi példában, amennyiben az N, P és K 4-4 ellátottsági szintjét /gyenge, közepes, jó és magas/ és az összes lehetséges kombinációkat is vizsgálni kívánnánk /tehát minden tápláltsági szituáció hatását a növényre és a talajra/, úgy 64 kezelés-kombinációra, a minimális 2 ismétléssel összesen 128 parcellára számíthatnánk. Egy ilyen, viszonylag komplettebb kísérleti szabadföldi modell megvalósítását és fenntartását, a hozzá kapcsolódó talaj-, növényvizsgálati, valamint kiértékelő háttér költségeivel együtt, technikai-pénzügyi lehetőségeink eleve korlátozzák.

Az egyszerű kísérleti tervek igen hasznosak lehetnek pl. a gyakorlati szaktanácsadásban, ahol helyileg hiányzik a konkrét információ egy-egy kérdés eldöntéséhez /pl. milyen fajtát vessünk, érdemes-e meszezni stb./. Az egyszerű kísérletekben kapott tapasztalat, információ is behatárolt, annak használhatósága limitált marad és a jelenségek /változások/ nagyobb részét magyarázat nélkül hagyjuk. Napjainkban a gyakorlat azt igényli, hogy egyre több tényezőt tartsunk kézben és optimalizáljunk. A talajtermékenységi kutatások nagy tartalékát képezhetik a feltáratlan kölcsönhatások, amelyek megismerése és számszerű jellemzése /pl. a főbb tápelemek közötti kölcsönhatások, stb./ áttörést jelenthet a tudományban és a gyakorlatban egyaránt. Ezért tudományos vizsgálatunkban egyre inkább előnyben részesítjük a látszólag költségesebb, bonyolultabb, többtényezős kísérleteket, amelyek képesek az összetettebb jelenségek jellemzésére úgy, ahogy azok a természetben megnyilvánulnak.

Külön kategóriába sorolhatók az egységes kísérleti sémával beállított kísérletsorozatok, a kollektív kísérletek, tájkísérletek /mint pl. az Országos Trágyázási Kísérletek hazánkban, vagy az ún. "Geográfiai Hálózat Trágyázási Kísérletei" a Szovjetunióban/ stb. Ezekben a trágyahatásokat talajváltozatonként, tájegységenként stb. össze is lehet hasonlítani és a műtrágyák regionális-zonális hatékonyságát illetően törvényszerűségeket is meg lehet állapítani. A földrajzi-talajtani elvek alapján beállított kísérletsorozatok egyaránt előfordulnak kísérleti állomásokhoz csatoltan, vagy termelő nagyüzemek gondozásában.

A parcella a szabadföldi kísérlet vizsgálati egysége. A parcellák mérete szerint a kísérlet lehet nagyparcellás, kisparcellás, sőt mikroparcellás. A döntő azonban eme felosztásnál nem is a parcellák abszolút mérete, hanem a szokásos üzemi-szabadföldi agrotechnika alkalmazhatóságának lehetősége. Amennyiben az üzemi agrotechnika, mint pl. a vetés, művelés, növényápolás stb. az üzemekben szokásos módon nem alkalmazható, úgy megváltozhat a termés szintje és a vizsgált tényező hatékonysága ill. hatásmechanizmusa. Így pl. az 1-2 vagy néhány m² alapterületű mikroparcellákon nyert hozamokat, bár szabadföldön kaptuk, nem számítjuk át hektárra és közvetlenül nem vihetjük át a gyakorlatba

egyéb kísérleti tapasztalatait sem. A parcellák mérete a kísérleti technika fejlődésével /parcellakombájn stb./ csökkent. Jelenleg általában a 20-100 m² alapterületű parcellákat nevezük kisparcelláknak, a 100 m² felettieket nagy-parcelláknak. Az üzemi kísérletekben a parcella mérete több hektár is lehet, sőt maga a tábla is, ami a termelés üzemi egységét jelenti.

Tartamuk alapján a szabadföldi kísérleteknek két fő típusát kell megkülönböztetnünk: az 1-2 éves ún. "vándor-kísérleteket" és a tartamkísérleteket. Amikor a talajvizsgálatokat kalibráljuk, jól használhatók a vándor-kísérletek. Ezek kevés kezelésből és ismétlésből állnak, de évenként más-más helyen vannak beállítva.

A talajvizsgálati adatok és a termés kapcsolatát elemezzük, a határértékeket finomíthatjuk, a talajokat csoportosíthatjuk a relatív termés alapján, amelyet a trágyázatlan parcellákon kaptunk. Ehhez száz vagy több száz termőhelyen, egységes sémával beállított egyszerű kísérletre van szükség, hogy az ellátottsági határértékek megfelelő biztonsággal kijelölhetőek legyenek a talajtulajdonságok függvényében /lásd pl. Várallyay korábban ismertetett kísérleteit/.

A vándor-kísérletekkel szembeni követelmény, hogy a talajtermékenység széles skáláját képviseljük és többé-kevésbé megfelelő eloszlással, hogy a csoportok képzése megbízható legyen. A hatásfokát, a trágyareakció mértékét ugyanis szembeállíthatjuk a talajok tápelemellátottsági-termékenységi szintjével, illetve a talaj felvehető tápelemtartalmával. E kísérletek természetesen nem mérik a kezelések kumulatív- vagy utóhatását a termésre, a talaj feltöltődésére vagy kimerülésére, ebből adódóan nem adnak útmutatást a talajtermékenység fenntartására vonatkozó tartós beavatkozásokra sem. Arra nyújtanak információt elsősorban, hogy a talajt "jól ellátott" kategóriába soroljuk, mert trágyahatást nem mutatott, vagy "gyengén" ellátottba, mert a trágyahatások, azaz a trágyázás hatására kapott terméstöbbletek igen kifejezettek voltak. Természetesen hasonló módon a diagnosztikai célú növényelemzés adatai is kalibrálhatók a trágyahatások alapján és kialakíthatók a különböző ellátottsági tartományokat reprezentáló növényvizsgálati határértékek.

A szabadföldi kísérletek jövője

Napjaink mezőgazdaságára jellemző, hogy egyre drasztikusabban avatkozunk be a talaj-növény rendszerbe. A termésátlagok növekedése újabb és újabb limitáló tényezők feltárását és terméskorlátozó szerepük megszüntetését követeli. A jelenségek egyre összetettebbé válnak az agronómia gyakorlatában, nem elég a termelés irányításához ma már az empiria, a személyes tapasztalat. A szabadföldi kísérletek felett nem járt el az idő, azok nem nélkülözhetők. Nemcsak az egyéb módszerekkel kiegészítve és azok mellett /tenyészedény- és liziméteres kísérletek, talaj- és növényvizsgálatok, laboratóriumi kísérletek stb./ nyújthatnak értékes adatokat, hanem nélkülözhetetlenek egy sor olyan kérdés vizsgálatában, amelyeket szabadföldi viszonyok kizárásával nem tisztázhatunk. Így pl. a talajművelési rendszerek, növényápolási eljárások, vetésforgók trágyázása és hatásuk a talajtermékenységre, fajtaprodukción vizsgálatok, valamint a gépesítés-kemizálás számos egyéb problémáira szabadföldi kísérletek nélkül nem kaphatunk választ a jövőben sem.

Az újabkori ökológiai és környezetvédelmi kutatások bázisául szintén a szabadföldi tartamkísérletek szolgálhatnak. Már is indult számos interdiszciplináris nemzeti kutatási program /OTKA, G-10 stb./, amelyek kimunkálása feltételezi a hazai tartamkísérletek hasznosítását és fenntartását. A közeli jövőben egyre inkább tért nyerhetnek a regionális és az egész Földünkre kiterjedő globális programok nemzetközi koordináció keretében. A földi életet fenntartó rendszert úgy őrizhetjük meg, ha figyelemmel kísérjük változásait /éghajlat, víz, talaj, növényzet, toxikus anyagok forgalma stb./ és megértjük működését.

A szabadföldi tartamkísérletek e téren helyettesíthetetlenek és pótolhatatlanok. A rothamstedi kísérletekben megőrizték az elmúlt 150 év alatt vett talaj- és növénymintákat. Azokat elemezve pl. tanulmányozható volt a Cd-terhelés újkori exponenciális növekedése a talajban és növényben. Az emberi tevékenység hatására lassan változhat a csapadék, a levegő CO₂-, NH₃-, toxikus elemeinek tartalma; éghajlat-talaj-növényzet stb. A lassú, de hozsuzutávu folyamatok rejtve maradnak előttünk, ezt a jelenséget a "láthatatlan jelen" /invisible present/ fogalmába sorolják az ökológusok.

A kutatásnak és a kutatónak számolnia kell ma már azzal, hogy a biológiában a jelenségek komplexek, kumulatív jellegűek, gyakran késleltetetten jelennek meg. Vannak másodlagos és ritkán előforduló történések. Egyre inkább elfogadottá válik az a nézet, hogy még a 10-15 éves vizsgálatok sem elégségesek a megbízható változások, a ritka jelenségek kimutatására. Ehhez sok évtized, esetleg évszázad szükséges és hatványozottan nőhet a vizsgálatok értéke az idővel /Long-term Ecological Research, 1988; JOHNSTON, 1988/. A magyar agrokémia és növénytermesztés művelőinek tudatában kell lennie annak, hogy a szabadföldi tartamkísérleteink nélkül nem csatlakozhat sikerrel hazánk pl. "Az ember és bioszféra" UNESCO-UNEP programhoz, vagy egyéb "Long Term Ecological Research" projekthez. A koncepciózus, jól beállított tartamkísérletek ugyanúgy a nemzeti vagyon részét képezik, mint pl. múzeumaink vagy műemlékeink. Megőrzésük és fenntartásuk mindnyájunk feladata a jövő generáció számára.

Irodalom

- BAULE, B., 1920. Prinzipielle Überlegungen zum Wachstumsgesetze der Pflanze. Landw. Jb. 54. 493-504.
- BAULE, B., 1953. Über die Weiterentwicklung der Ertragsgesetze von Liebig und Mitscherlich. Z. Acker- u. Pflanzenbau. 96. 173-186.
- BERGMANN, W., 1958. III. Methoden zur Ermittlung mineralischer Bedürfnisse der Pflanzen. In: Handbuch der Pflanzenphysiologie. 37-89. Springer-Verlag. Berlin.
- BOUSSINGAULT, J., 1854. Memoires de chimie agricole et de physiologie. Paris. In: CSERHÁTI S. és KOSUTÁNY T., 1887. A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- COCHRAN, W. G. and COX, G. M., 1950. Experimental design. John Wiley and Sons. New York.
- CSERHÁTI S., 1900. Általános és különleges Növénytermelés. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- CSERHÁTI S. és KOSUTÁNY T., 1887. A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó. Budapest.
- DELLER, B., 1988. 100 Jahre Bodenuntersuchung in VDLUFA. Bedeutung, Probleme, Erfolge. VDLUFA-Schriftenreihe 28. Kongressband. 191-213.
- FISCHER, R. A., 1951. The design of experiments. 6th ed. Oliver and Boyd. Edinburgh.
- GUIDE to the Classical Field Experiments, 1984. Rothamsted Experimental Station. Lawes Agricultural Trust. Harpenden.
- JOHNSTON, A. E., 1988. Benefits from Long-Term Ecological Research. Some Examples from Rothamsted. In: Long-Term Ecological Research - A Global Perspective. 288-312. Final Report of the International Workshop. UNESCO-MAB. Berchtesgaden. BRD.
- KLECSKOVSKIJ, V. M. i PETERBURGSKIJ, A. V., 1964. Agrohimiija. Izd. Kolosz. Moszkva.
- LEMMERMANN, O., 1925. Die Bestimmungsmethoden des Düngungsbedürfnisses des Bodens. Z. Pflanzenernährg. Düng. u. Bodenkunde. 4. 39-52.

- LIEBIG, J. von, 1840. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agricultur und Physiologie. 9. Aufl. Vieweg and Sohn. Braunschweig.
- LONG-TERM Ecological Research. A Global Perspective., 1988. Final Report of the International Workshop UNESCO-MAB Program. Berchtesgaden. BRD.
- MITSCHERLICH, E. A., 1929. Gefäss- und Feldversuch als Grundlage für die zweckmässige Düngung. Superphosphat. 5. 11.
- MITSCHERLICH, E. A., 1930. Die Bestimmung des Düngerbedürfnisse des Bodens. 3. Aufl. P. Parey Verlag. Berlin.
- MUDRA, A., 1952. Einführung in die Methodik der Feldversuche. S. Hirzel-Verlag. Leipzig.
- ROEMER, Th., 1930. Der Feldversuch. 3. Aufl. Deutsche Landw. Ges. Berlin.
- ROEMER, Th., 1931. Die Bestimmung des Fruchtbarkeitszustandes des Bodens durch den Feldversuch. In: Handbuch des Bodenlehre von Blanck. Vol 8. 567-599. Springer-Verlag. Berlin.
- SALMON, S. C. and HANSON, A. A., 1964. The Principles and Practice of Agricultural Research. Leonard Hill. London.
- SARKADI J. /Szerk./, 1967. Trágyázási Kísérletek, 1955-1964. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- SARKADI, J. and KÁDÁR, I., 1974. The interaction between phosphorus fertilizer residues and fresh phosphate dressings in a chernozem soil. Agro-kémia és Talajtan. 23. Suppl. 93-100.
- SAUSSURE, De N. T., 1804. Recherches chimique sur la végétation. Paris. in: MITSCHERLICH, E. A., 1957. Pocsyvovedenie, Izd. Inosztr. Lit. Moszkva.
- SCSERBA, Sz. V., 1954. Metodika polevogo opüta sz udobrenijami. In: Agrohímicseszkie metodü isszledovaniija pocsv. 389-445. Izd. Akademii Nauk SzSzsZR. Moszkva.
- SZABADVÁRY F. és SZŐKEFALVI N. Z., 1972. A kémia története Magyarországon. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- TISDALE, S. L., NELSON, W. L., 1966. A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- VÁRALLYAY Gy., 1950. A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. Agrokémia. 2. 287-302.
- VÁRALLYAY Gy., 1954. Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajtérképezésig. Agrokémia és Talajtan. 3. 289-298.
- WAGNER, F., 1959. Die Technische Durchführung von Feldversuchen. Paul Parey Verlag. Berlin und Hamburg.
- WOLFF, E., 1864. Entwurf zur Bodenanalyse. Die Landw. Versuchstationen. 6. 1-141.

KÁDÁR IMRE
MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, Budapest

Érkezett: 1990. augusztus 14.