

SZEMLE**Review****A szabadföldi kísérletezés és az agrártudomány**

KÁDÁR IMRE

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet, Budapest

Field experiments and agricultural science

I. KÁDÁR

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry
of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Amióta az ember földműveléssel foglalkozik, megfigyeléseket végez, és adatokat gyűjt. Hosszú évezredekén át az empirikus megfigyelés és tapasztalat volt az agronómiai ismeretek forrása. Ismereteink szerint az 1700-as évek közepe előtt modern értelemben vett tudományos kutatás nem létezett. A mezőgazdasági kutatások valójában egy évszázaddal később, a XIX. sz. közepétől intézményesülnek. Az 1800-as évek elejéig még nem jöttek létre a mezőgazdasági kísérleti állomások, sem a mai értelemben vett, a szigorúbb követelményeknek megfelelő mezőgazdasági főiskolák. Ennek nem mond ellent az a tény, hogy egy-egy nagybirtokos esetleg létrehozott saját szakiskolát, intézőképzőt (lásd pl. Georgikon Magyarországon).

A mezőgazdasággal foglalkozó szakkönyvekben gyakran annyi volt a spekuláció, mint a józan gyakorlati útmutatás. Az újabb eljárásokat az üzemek úgy vezették be, hogy hiányzott az egzakt összehasonlítást lehetővé tevő kontroll.

A siker vagy a kudarc okairól általában nem tudtak tiszta képet alkotni. Az okozati ismeretek nélküli, a helyi körülményeket figyelmen kívül hagyó próbálkozások lassan szilárdították meg a helyes és általánosítható ismereteket. A haladás valójában kétségbeejtően lassú, fáradtságos és kudarcokkal teli volt, mert vakon történt.

A haladás története, nyugodtan állíthatjuk, a tévedések története is volt. Az ókor gondolkodói valóban rendszerezték a megfigyeléseket, és sok hasznos ismeretet halmoztak fel. A kísérletezés módszeréről azonban alig volt elképzelésük. Ezért alakulhatott ki a tekintélyelv, mely évezredekken át nagy károkat okozott, és okozott vagy okozhatott az újkorban, napjainkban is (lásd pl. Liszenko-tan). A kísérlet, amennyiben objektív, megóv a hibáktól. A fejlődés az 1800-as évek közepétől gyorsult, amióta kísérletezünk. A mezőgazdasági kutatás eredményei döntően járultak hozzá a civilizáció alapjainak bővüléséhez és a tudományos kutatás a fejlődés motorjává vált általánosan is.

A 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, az ún. „principiumait” tisztázzák. Gyakran vallják, hogy az „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 az eljárást nem neveznénk tudományos kutatásnak. Amint korábban már említettük, *Helmont* pl. 5 éven át fűzfát nevelt 90 kg tömegű talajban, melyhez 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 anyagokat használt fel a talajból, illetve épített be a testébe (In: *Kádár* 1992).

Ingenhouss (1730–1799) később kimutatta, 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, melyek lassan tisztázzák a növényi élet működését. Ezeknek az ismereteknek még alig volt kihatásuk a mező-

gazdaságra. Az 1800-as évek elejével azonban minőségi változás történik. A felhalmozott tudást precízebb technikával kísért vizsgálatokkal bővítik ki és *De Saussure* (1765–1845) 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 megkezdődött alkalmazásuk az agronómiában. A hamuelemzésekkel pl. azt is megállapították, hogy a növényi alkotórészek minden eleme a humuszban is megtalálható (In: *Kádár* 1992).

Boussingault (1802–1882) az első, valóban kísérleti állomásnak nevezhető intézményt hozza létre 1834-ben a francia Elzászban. Szántóföldi kísérleteit, melyek a trágyázás és a vetésforgó kérdéseire vonatkoztak, gondosan megtervezte. Ezen felül saját gazdaságában laboratóriumot is létrehozott. Lemérte és analizálta a parcellákra adagolt trágyákat és az onnan betakarított terményeket, tápelem-mérlegeket felállítva. Elsőként bizonyította, hogy a pillangósok a levegőből nitrogént képesek felvenni. Még *Boussingault* sem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás kísérleti technikát alkalmazta. Ez a technika tulajdonképpen hosszú fejlődés eredménye, mely általánosan elfogadottá csak a XX. század elején vált. Mégis Őt tekintjük a szabadföldi kísérletezés atyjának, mert:

- A szabadföldi kísérletezést összekapcsolta a talaj- és növényvizsgálatokkal és bevezette a tápelem-mérlegeket. Ezzel a szabadföldi kísérletezést tudományos módszerré avatta.
- Vizsgálatait tartamjelleggel végezte. Felismerte, hogy az agronómiai és a talajtermékenységi kutatásokban az időtényező szerepe meghatározó, tudományos eredmények csak sokéves vizsgálatokból szűrhetők le.

Liebig (1803–1882) ugyan nem végzett szabadföldi kísérleteket, de döntő befolyással volt azok elterjedésére. Szintetizálta kora tudományos eredményeit (kémia, élettan) és az agrártudományt alkalmazott természettudománnyá avatta. A mezőgazdaság *Liebig* előtt vagy után olyan vízválasztót jelöl, mint a keresztény világban a Krisztus előtti vagy utáni időszámítás – jegyzi meg *Salmon* és *Hanson* (1970). *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 kutatások fontosságára.

A Rothamstedi Kísérleti Állomás pl. London mellett 1843-ban létesült *Lawes* (1914–1900) birtokán. A kísérleti munkák irányítását *Liebig* egyik

tanítványa, *Gilbert* (1817–1901) végezte. Az 1843–1856 között beállított 9 tartamkísérletből 8 többé-kevésbé változatlan formában ma is folyik „Rothamsted Classical Experiments” néven (*Guide* 1984). A Rothamstedi Kutató Központ ma is az agrokémikusok Mekkája, az agrokémiai-talajtermékenységi ismereteink egyik jelentős forrása. Az itt beállított 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 feltételezte. (Tehát a tápelem-igény és a trágyaigény nem ugyanaz.)
2. A légköri ammónia-N nem képes fedezni a nem-pillangós növények N igényét, mint ahogy azt Liebig vélte. A pillangós forgók többlet N-je a levegőből származik, ahogyan azt Boussingault is bizonyította. (A hogyanra ekkor még nem kapunk választ, hiszen a gyökérgümők és a bennük élő N-kötő baktériumok tevékenysége nem ismert.)
3. Az ugarolás kedvező hatása gyakran éppen a talajban lévő N-vegyületek felhalmozódásában rejlik, a humuszanyagok ásványosodása következtében. Liebig (PK) és Boussingault (N) gondolatát egyesíteni kell.
4. A talajok termékenysége fenntartható pusztán műtrágyákkal.

Utóbbi megállapítást sokan még ma is vitatják. Az ásványi teória azonban véglegesen győzedelmeskedett. A kémia és az élettan (elmélet) eredményei megtermékenyítették az agronómiát (gyakorlat), most már nem válik el az elmélet és a gyakorlat. Közben Boussingault is közölte trágyázási kísérleteinek újabb eredményeit 1854-ben, megerősítve a rothamstedi kísérletek tanulságait. A hitelesség érdekében meg kell jegyeznünk, hogy Liebig előtt mások is felvetették az államilag fenntartandó szabadföldi kísérletek fontosságát. Haselhoff idézi Thaer-t (Cit. in: *Deller* 1988): „Ilyen kísérletek nagy számban való beállítása 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 intézményesen megvitatták az akkori szakemberek. A véleménycsere szolgálta az 1858-ban megalapított „Die landwirtschaftliche Versuchsstationen” folyóirat, valamint a vándorgyűlések. Az első vándorgyűlést 1863-ban szervezték Lipcsében. *Wolff* (1864) összeállította a talajvizsgálatok módszereit, azokat a kémiai és fizikai laboratóriumi eljárásokat, amelyeket alapjaiban ma is használunk.

Az Egyesült Államokban 1875-ben létesül az első ilyen intézmény, a Connecticuti 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 ugyanezen évben az USDA (USA Mezőgazdasági Minisztériuma) megszervezése és végül 1887-ben az egyetemek mellett működő mezőgazdasági kísérleti állomások hálózatának létrehozása (Hatch-Törvény). Az állami egyetemi rendszer tovább bővül 1914-ben a szaktanácsadást és a felnőtt továbbképzést ellátó Cooperative Extension Service intézményével. Az egyetemek a kutatás-oktatás-szaktanácsadás hármasságát ellátva mindhárom tevékenységükben támaszkodnak a szabadföldi kísérletezésre (*Kádár* 1985).

Klecskovszkij és Peterburgszkij (1964) szerint Mengyelejev, 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 a 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 *Prjanisnyikov* (1865–1948) folytatta és alapozta meg a később kiterjedt kísérleti munkát.

Érdeemes megemlíteni, hogy ekkor ismerte fel az orosz agronómia-agrokémia a trágyák hatásában a zonalitás jelenségét. Az istállótrágya mindenütt hatásosnak mutatkozott, míg a P főként a csernozjomokon, a N és a mésztrágya pedig a podzolokon. A káliumot elsősorban a gyökérgumósok és a pillangós fűfélék hálálták meg. Mengyelejev arra a következtetésre jutott, hogy „...szinte minden talaj alkalmassá tehető a kultúrnövények termesztésére és termékenysége növelhető trágyázással, mert ezzel a talaj hiányosságait pótoljuk. A

nálunk szokásos termékek nemcsak könnyen megduplázzhatók ily módon, hanem három- és négyszeresére is növelhetők.” (In: *Klecskovszkij és Peterburgszkij* 1964).

A szabadföldi kísérletek jellege, korlátai

A kísérletek célja különbségek megállapítása az egyes kezelések között. Kezelések alatt érthetjük az összehasonlítandó fajtákat, műtrágya adagokat vagy formákat, művelési módokat stb. *Mudra* (1952) a szántóföldi kísérleteket két nagy csoportra osztja:

1. Azonos körülmények között genetikailag eltérő növényeket, vagy
2. genetikailag azonos növényeket eltérő körülmények között hasonlíttanak össze.

Az első csoportba a fajta-összehasonlító kísérletek tartoznak, ahol elsősorban a terméspotenciált vizsgálják. Mivel a termésszint külső tényezőknek is függvénye, a kísérletek két csoportja összefonódhat. Ekkor *Wagner* (1959) szerint komplex kísérletekről beszélhetünk.

A szabadföldi kísérletek a biológiai módszerekhez tartoznak, mert alapul az élő szervezet reagálása szolgál a külső tényezők hatására. Gyakran azt a növényt kérdezzük, melyre a vizsgálat eredményeit alkalmazni fogjuk. Az egyik legrégebbi és „legtermészetesebb” módszer, mert a vizsgálatok a termeléshez hasonló talajtani, agrotechnikai, éghajlati körülmények között folynak. A már klasszikusnak tekinthető régebbi irodalom (*Cserhádi* 1900, *Lemmermann* 1925, *Scserba* 1954) azonban túlhangsúlyozza a termelési körülményekhez való hasonulás fontosságát. Így pl. *Scserba* (1954) szerint a szabadföldi kísérlet értékét, minőségét, adatai használhatóságát az alábbi követelmények határozzák meg:

1. Reprezentálja azokat a körülményeket, ahol eredményeit felhasználni kívánjuk. Tehát az adott tájra, talajra, agrotechnikai színvonalra, ill. a várható agrotechnikai színvonalra tipikus legyen.
2. A pontosság követelménye. A véletlen jelenségek miatt mindig csak a valóság közelítését kapjuk. Minél pontosabban végezzük a kísérletet 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

nehézkesek és lassúak, csak több éves munkával nyerhetők megbízható információk. Amíg a kísérleti adatok elemzése, kiértékelése és közlése megtörténik, gyakran megváltoznak a fajták és a termesztés egyéb körülményei. A tipikusság követelménye valóban alapvető volt, amikor pl. a kísérletek közvetlenül trágyaigényt határoztak meg a gyakorlat számára. A tapasztalatok általánosításához és átviteléhez a talaj- és növényelemzés nem nyújtott még megbízható alapokat.

E módszer hátrányai között említhető, hogy a vizsgálatok eredményei szigorúan véve csak az adott konkrét talaj és éghajlati viszonyokra korlátozódnak. Igen részletes talajtani és termesztési jellemzés szükséges ahhoz, hogy a trágyázási vagy meszezési tapasztalat átvihető legyen. Ezért célszerű a szabadföldi kísérlethez más eljárásokat is, mint pl. a talajvizsgálat, növényelemzés, esetleg tenyészedény kísérlet stb. felhasználni. Ez a lefedés vagy komplexitás általában csak a kísérleti állomásokon, kutatóintézményekben valósulhat meg. A tudományos igényű szabadföldi kísérletezésnek csak mellékterméke a gyakorlati igények kielégítése, mert átfogóbb célokat követ. A talajtermékenységgel, növénytáplálással, környezetvédelemmel stb. kapcsolatos *alapösszefüggések megismerésére* irányul.

A trágyahatások megítéléséhez olyan tényezőket is figyelembe kell vennünk, amelyek a talaj tápanyagainak felvehetőségét befolyásolhatják, vagy közvetlenül a termékenységet és az elérhető termékek szintjét behatárolják. Ilyenek lehetnek a termőréteg vastagsága, a talaj szerkezete, vízgazdálkodása, biológiai aktivitása, éghajlat, művelés, agrotechnika, fajta stb. Az említett sokféle tényező szabatos számszerű mérésére gyakran nincs módunk. Feltárhatók és rangsorolhatók azonban azok a tényezők, amelyek nagy valószínűséggel korlátozók lehetnek vagy voltak. Így pl. egy hosszan tartó szárazság, betegség fellépése stb.

Az elmondottak ellenére megbízható feleletet ma is a szabadföldi kísérlet adhat arra, hogy

- milyen tápelemre igényes egy talaj, illetve mely növénynél számíthatunk trágyareakcióra az adott termesztési feltételek között?
- mely trágyaforma és milyen trágyázási mód hatékony, illetve mekkora a gazdaságos trágyaadag nagysága?

A szabadföldi kísérletek előnyeit és hátrányait *Roemer (1930), Lemmermann (1930), Bergmann (1958 a,b)* alapján az alábbiakban foglaljuk össze:

Előnyei:

- A trágyaigény becslésére a legtermészetesebb módszer, mert a kísérlet a „termő talajon” folyik;

- Figyelembe veszi a termőhely olyan tulajdonságait, mint az altalaj minősége, a talaj biológiai aktivitása stb. Ezekre gyakran nem vagyunk tekintettel más módszerek alkalmazása során vagy megváltoztatjuk. (Lásd pl. a talaj roncsolását, kirázását vagy extrahálását a kémiai analíziseknél.)
- Magában foglalja a talaj - klíma - növény tényező komplexumot, mint egységes rendszert és különböző növényfajokkal tesztelhető;
- Tükrözi ezen kívül a talaj vízháztartását (víztároló és vízbefogadó képessége);
- Nem igényel semmiféle laboratóriumi háttérrel, tapasztaltabb gazdának közvetlen helyszíni útmutatást adhat.

Hátrányai:

- A feltett kérdésre csak utólag, az aratást követően kaphatunk választ. Szigorúan véve csak azt mondja meg, mi lett volna helyes a múltban. Nem pedig azt, hogy mi lesz a helyes eljárás (adag) a következő évben;
- Többéves eredményekre van szükség, mert az egyéves hatások bizonytalanok lehetnek. Minden szabadföldi kísérlet legfőbb hiányossága lehet a bizonytalan reprodukálhatóság;
- A talaj felvehető tápelemeinek mennyisége ("b" érték) csak akkor becsülhető meg, ha érdemi terméskülönbségeket mérünk a hiánykezelésekben;
- A jól ellátott talajon sokáig nem tudjuk meg, hogy a talaj tápelem-készlete meddig képes a magas termést biztosítani, mikorra várhatók a trágyahatások. Az esetleges tápelem túlsúly sem azonosítható, csak a hiány;
- A kísérlet eredményei elvileg csak az érintett területre igazak. Részletes talaj- és növényvizsgálatok nélkül a tapasztalatok nem vihetők át, nem általánosíthatók, csak azonos feltételek között igazak;
- Az eredmények csak a vizsgált növényre vonatkoznak (növényfajra, sőt fajtára);
- Erősen időjárás-érzékeny. Az időjárási extrémítások mint a téli kifagyás, fagykarak később, jégeső, szárazság, megdőlés az eredményt torzíthatják.

Az itt felsorolt „klasszikus” hátrányokat többé-kevésbé ma már ellensúlyozhatjuk. A talaj- és növényvizsgálatokkal jelentős részben kiküszöbölhetjük a szabadföldi kísérlet hátrányait (eredmények kiterjeszhetősége, termőhely tápelem-készlete). Alapos megfigyelésekkel, bonitálásokkal és mérésekkel megbecsülhetők a tenyészidő alatti változások és hatások, időjárás befolyása, a

bizonytalan reprodukálhatóság oka. Megfelelő agrotechnika, növényvédelem elkerülhetővé teszi a betegségek fellépését stb.

A félresikerült kísérletek 20–50%-át *Roemer* (1931) az időjárási tényezőknek tulajdonítja. Különösen nehéz kísérletezni az extrémebb talajokon. Valóban a kedvezőtlen időjárás esetenként értékelhetetlen eredményre vezet a hazai homoki kísérleteinkben. Ilyen lehet a hosszan tartó szárazság vagy pl. a szélverés, melyek az állomány kipusztulását okozhatják. A termés ill. a trágyahatás a különböző hatótényezők eredőjeként jön létre. Utóbbiak elhanyagolása hamis következtetésre vezethet, amennyiben az ok-okozati összefüggés rejtve marad. Így pl. N hatására nőhet a termés, de mindez együtt járhat fokozottabb rovarkártételekkel. Az eredmény: a trágyahatás elmarad, illetve nem kimutatható aratáskor. Megfelelő növényvédelemmel párosítva azonban a pregnáns N-hatás realizálható, illetve a rovarkártétel felismerésével és számszerű felvételezésével ez a hatás értelmezhető.

Összefoglalva elmondható, hogy ma sem ismerünk a gyakorlatban jobb módszert egy tábla trágyaigényének megállapítására, mint a szabadföldi kísérletet. A talaj tápelem-készletére azonban nem nyújt elégséges információt, drága és nehézkes, tapasztalatai önmagában nem általánosíthatók. Az alap kutatásokon túlmenően elsősorban a talaj- és növényvizsgálatok kalibrálásában, értelmezésében helyettesíthetetlenek. Adataik csak akkor hasznosulhatnak, ha szakszerűen történt beállításuk, megfelelő pontossággal folytatták le és értékelték azokat. Eltérő esetben sok felesleges munkát, időt és kidobott pénzt jelentenek.

A kritikai észrevételek között talán a legfontosabbnak mégis azt kell említenünk, hogy a kísérletezők egy része nem képes helyesen kérdezni. Tehát a kísérletet megtervezni, a célt világosan megfogalmazni. Gyakran hiányzik a megfelelő kontroll, esetleg együtt adagolja a különböző tápelemeket, azok hatása megbízhatóan el sem különíthető. Az eredmények zavart keltőek és értelmezhetetlenek. Nemcsak a tudomány számára haszontalanok, de a gyakorlati szaktanácsadásnak sem adhatnak használható irányelveket. Az előrelátás és az áttekintés hiányát semmilyen számítógéppel sem pótolhatjuk később, semmi sem helyettesítheti a gondolkodó embert. Részben ez a kritika sajnos, az Egységes Országos Trágyázási Kísérleteket (EOTK) sem kerülheti el. Ezek a 60-as évek végén tervezett és beállított, részben átépített és nehezen áttekinthető adag-arány kísérletek. Az EOTK kísérletekben többé-kevésbé az N és P hatások vizsgálhatók szabatosan (*Sarkadi et al.* 1984).

A szabadföldi kísérletek főbb típusai

A szabadföldi kísérleteket különböző szempontok szerint osztályozhatjuk (Kádár 1991, 1992, Kádár és Szemes 1994). Pl:

- Tartamjellegük alapján (egyéves, többéves, ún. "örök" kísérletek)
- Parcellák mérete alapján (nagy-, kis- és mikro-parcellás)
- Összetételük alapján (egyszerű üzemi próbától a bonyolultabb alapku-
tatást szolgáló kísérletekig)
- Kísérletsorozatok egységes metodikával, földrajzi-talajtani elvek alapján
- Céljaik szerint (hatásgörbe vizsgálata, új műtrágyák összehasonlítása
stb.)

Az agronómiában a fizikai, kémiai, biológiai hatások és kölcsönhatások összegeződnek. Ilyen bonyolult rendszer tudományos vizsgálatánál számszerű összefüggést keresünk a rendszer valamely változója és a termés nagysága között. A változó vagy változók szintjei jelentik a kezelést. Általában más tényezők is befolyásolhatják a termést, ezért szükséges, hogy

- az egyéb befolyásoló tényezők változatlanok legyenek a kísérleten belül és ezen a "standard" szinten végezzük a vizsgálatot,
- vagy kiegészítő kísérlettel határozzuk meg az egyéb befolyásoló ténye-
zők módosító hatását (kölcsönhatásokat) a rendszerben.

A növénytermesztési rendszerekben egyaránt előfordulnak kontrollált és nem kontrollált (pl. időjárás) változók, azon belül diszkrét és folytonosak. Mivel a szabadföldi kísérletek drágák, gyakran megelégszenek olyan egyszerű kísérleti tervekkel, melyek a rendszer egy elemét sem képesek átfogóan jelle-
mezni. A három fő tápelem közötti kölcsönhatások megbízható vizsgálatára pl. a 43 típusú kísérletre volt szükség 64 kezeléssel és a minimális 2 ismétlés-
sel összesen 128 parcellával. Egy ilyen viszonylag komplettebb szabadföldi
modell megvalósítását és fenntartását (a hozzá kapcsolódó talajvizsgálati,
növényvizsgálati, valamint kiértékelő háttér költségeivel együtt) technikai,
pénzügyi lehetőségeink korlátozzák. Erre csak a stabil költségvetéssel ren-
delkező, alap kutatásokat megvalósító tudományos intézmény vállalkozhat.

Az egyszerű kísérleti tervek nagyon hasznosak lehetnek pl. a gyakorlati szak-
tanácsadásban. Ott, ahol helyileg hiányzik a megbízható információ egy-egy
kérdés megválaszolásához (milyen fajtát vessünk, érdemes-e meszezni, mek-
kora adaggal stb.). Az egyszerűbb kísérletekben nyert tapasztalat és informá-
ció azonban behatárolt. Használhatósága általában limitált marad, mert a

jelenségek (változások) nagyobb részét magyarázat nélkül hagyjuk. Már a gyakorlat is azt igényli, hogy egyre több tényezőt kézben tartsunk és optimalizáljunk. Ehhez meg kell ismerni az optimumokat és a kölcsönhatásokat. A talajtermékenységi kutatások nagy tartalékát a feltáratlan kölcsönhatások jelenthetik. Ebből adódóan egyre inkább előnyben részesítjük a látszólag költségesebb, bonyolultabb többtényezős kísérleteket tudományos vizsgálatainkban, mert képesek az összetettebb jelenségeket tükrözni úgy, ahogy azok a talajban és a növényben, a természetben megnyilvánulnak.

Külön kategóriába soroljuk az egységes kísérleti sémával beállított kísérletsorozatokat. Ezek között említhetjük a tájkísérleteket, az EOTK kísérleteket hazánkban, az ún. Geográfiai Hálózat Trágyázási Kísérleteit a Szovjetunióban. Ilyen kísérletek szinte minden országban fellelhetők. A trágyahatásokat e kísérletsorozatokban talajváltozatonként, tájegységenként is össze lehet hasonlítani és törvényszerűségeket állapítani meg a tápanyagok (műtrágyák) regionális vagy zonális hatékonyságát illetően.

A szabadföldi kísérlet vizsgálati alapegysége a parcella. A parcellák mérete alapján a kísérlet lehet nagyparcellás, kisparcellás, sőt 1–2 vagy néhány m²-es mikro-parcellás. A döntő eme felosztásnál nem is a parcellák abszolút mérete, hanem a szokásos üzemi, szabadföldi agrotechnikai alkalmazhatóságának lehetősége. Amennyiben ugyanis az agrotechnika (vetés, művelés, növényápolás) az üzemekben szokásos módon nem alkalmazható, úgy megváltozhat az elérhető termésszint, illetve a vizsgált tényező gazdaságossági megítélése, hatása, esetleg hatásmechanizmusa. Az 1–2 vagy néhány m² alapterületű mikro-parcellákon nyert terméseket (bár szabadföldön kaptuk) pl. nem számítjuk át hektárra és közvetlenül nem vihetjük át a gyakorlatba az egyéb kísérleti tapasztalatokat sem. A parcellák mérete a kísérleti technika (parcellakombájn, parcellavetőgépek stb.) fejlődésével csökkent. Jelenleg a 20–100 m² alapterületű parcellákat nevezzük kisparcelláknak, a 100 m² felettieket nagyparcelláknak. Az üzemi kísérletekben a parcella mérete több hektár is lehet, sőt maga a tábla is, ami az üzemi termelés egységét jelenti.

Tartamuk alapján megkülönböztetjük az 1–2 éves rövid idejű kísérleteket, a „vándor kísérleteket” és a többéves tartamkísérleteket. Amikor a talajvizsgálatokat kalibráljuk, jól használhatók a vándorkísérletek. Ezek kevés kezeléssel és ismétléssel állnak, de sok helyen évente vagy kétevente új területen vannak beállítva. A talajvizsgálati adatokat és a termés kapcsolatát elemezve határértékeket alakíthatunk ki, a talajokat (termőhelyeket) csoportosíthatjuk

a relatív termés alapján, melyet a trágyázatlan parcellákon kaptunk. Ehhez száz vagy több száz termőhelyen egységes sémával beállított egyszerű kísérletre van szükség, hogy az ellátottsági határértékek megfelelő biztonsággal kijelölhetők legyenek a talajtulajdonságok függvényében.

A vándorkísérletekkel szembeni követelmény, hogy a termőhelyek a talajtermékenység (ellátottság) széles skáláját képviseljék. Fontos, hogy a talajtulajdonságok, főként a tápelem-ellátottsági tartományok eloszlása is megfelelő legyen, hiszen ez képezi a megbízható csoportosítás alapját. A hatást, illetve a trágyareakció mértékét ugyanis szembeállítjuk a talajok ellátottsági (termékenységi) szintjével, melyet a felvehető tápelem-tartalommal jellemezni kívánunk.

Természetszerűleg, ezen kísérletekben nem mérik a trágyázás utóhatását vagy kumulatív hatását a termésre, a talaj feltöltődésére vagy kimerülésére. Ezért nem adhatnak útmutatást a talajtermékenység fenntartására vonatkozó tartós beavatkozásokra sem. Arról adnak információt elsősorban, hogy az adott tulajdonságú talajt a „jól ellátott” kategóriába sorolhatjuk-e (mert trágyahatást nem mutatott), vagy a „gyengén” ellátottba, mert a trágyahatások (terméstöbbletek) igen erősek voltak. Hasonló módon a diagnosztikai célú növényanalízis adatai is kalibrálhatók a trágyahatások alapján. A vándorkísérletek leegyszerűsítve tehát tulajdonképpen hatásgörbe kísérletek, ahol az eltérő ellátottságot nem a tartós trágyázási variánsok teremtik meg, hanem az eltérő tápelem-ellátottságot reprezentáló termőhelyek.

A szabadföldi kísérletek jövője

Az emberi tevékenység egyre drasztikusabb beavatkozást jelent a környezetbe, különösen a talaj-növény rendszerbe. Egyre mélyebben szeretnénk megismerni a növény táplálás és a talajtermékenység alakító tényezőit. Egyre kevésbé alkalmas az empiria a termelési folyamatok irányításához a mezőgazdaságban is. A szabadföldi kísérletek felett nem járt el az idő, sőt egyre inkább nélkülözhetetlenné válnak. Nemcsak az agrokémia egyéb módszereivel kiegészítve (tenyészedény, liziméter, laboratóriumi kísérletek, talaj- és növényanalízis) nyújthatnak értékes adatokat. Egy sor kérdésre választ csak a szabadföldi kísérletekben nyerhetünk a jövőben is. Így pl. a talajművelési rendszerek, növényápolási eljárások, vetésforgók trágyázása és hatásuk a talaj termékenységére, fajtaprodukción vizsgálatok, valamint a gépesítés és kemizálás alapproblémái a jövőben is csak szabadföldi kísérletekben tisztázhatók.

Az újabb kori ökológiai és környezetvédelmi kutatások bázisául szintén a szabadföldi tartamkísérletek szolgálhatnak. Máris számos interdiszciplináris nemzetközi kutatási program indult, melyek kimunkálása feltételezi a hazai tartamkísérletek hasznosítását és továbbfejlesztését. A közeli jövőben egyre inkább tért nyerhetnek a regionális és az egész Földre kiterjedő globális kutatások nemzetközi koordináció keretében. A földi életet fenntartó rendszert úgy őrizhetjük meg, ha figyelemmel kísérjük változását (éghajlat, víz, talaj, növényzet, toxikus anyagok forgalma stb.) és megértjük működését.

A rothamstedi kísérletekben megőrizték az elmúlt 150 év alatt vett talaj- és növényminták egy részét. Azokat elemezve tanulmányozható volt pl. a Cd terhelés újkori exponenciális növekedése a talajban és a növényben (*Johnston* 1988). Az emberi tevékenység hatására lassan megváltozhat az éghajlat, a levegő CO_2 , NH_3 és toxikus elemeinek tartalma stb. A lassú, de hosszú távú folyamatok sokáig rejtve maradnak előttünk. Ezt a jelenséget a „láthatatlan jelen” (invisible present) fogalmába sorolják az ökológusok.

A kutatásnak és a kutatónak számolnia kell azzal, hogy a biológiában a jelenségek összefüggenek (komplexek), kumulatív jellegűek és gyakran késleltetten jelennek meg. Vannak másodlagos és ritkán előforduló történések. Egyre inkább tért hódít az a nézet, hogy még a 10–15 éves vizsgálatok sem elégségesek a ritka jelenségek kimutatására, a változások megbízható regisztrálására. Ehhez sok évtizedre, esetleg évszázadok (generációk) szisztematikus munkájára van szükség. A vizsgálatok értéke hatványozottan nőhet az idővel.

A magyar agrokémia és agronómia művelőinek tudatában kell lenniük azzal, hogy szabadföldi tartamkísérleteink nélkül sikerrel nem oldhatók meg sem a mezőgazdaság, sem a környezetvédelem jelenlegi és jövőbeni problémái. Nélkülük nem csatlakozhatunk olyan nemzetközi programokhoz, mint pl. „Az ember és bioszféra” UNESCO-UNEP interdiszciplináris kutatások, vagy egyéb hosszú távú globális ökológiai vizsgálatokhoz (Long Term Ecological Research, LTER program). A koncepciózus, jól megtervezett és fenntartott tartamkísérleteink ugyan-úgy a nemzeti vagyoni részét képezik, mint pl. múzeumaink vagy műemlékeink. Megőrzésük és továbbvitelük mindnyájunk feladata és erkölcsi kötelessége a jövő generációi számára.

IRODALOM

- Bergmann, W.*: 1958a. III. Methoden zur Ermittlung mineralische Bedürfnisse der Pflanzen. Handbuch der Pflanzenphysiologie IV. Springer Verlag, Berlin. 37–89.
- Bergmann, W.*: 1958b. Die Ermittlung der Nährstoffbedürftigkeit des Bodens. Handbuch der Pflanzen-physiologie Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. 4: 867–942.
- Cserhádi, S.*: 1900. Általános és különleges növénytermelés. Czeh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyaróvár.
- Deller, B.*: 1988. 100 Jahre Bodenuntersuchung in VDLUFA. Bedeutung, Probleme, Erfolge. VDLUFA-Schriftenreihe. 28. Kongr. 191–213.
- Guide to the Classical Field Experiments*: 1984. Rothamsted Experimental Station. Lawes Agric. Trust. Harpenden.
- Johnston, A. E.*: 1988. Benefits from Long-Term Ecological Research. Some Examples from Rothamsted. [In: Long-Term Ecological Research - A Global Perspective.] Final Report of the International Workshop. UNESCO-MAB. Berchtesgaden. BRD. 288–312.
- Kádár I.*: 1985. Útjelentés az Egyesült Államokban tett tanulmányútról. Kézirat. MTA TAKI. 1–22.
- Kádár I.*: 1991. A tartamtrágyázási kísérletek történetéről és jelentőségéről. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 285–296.
- Kádár I.*: 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest. 1–398.
- Kádár I.–Szemes I.*: 1994. A nyírlugosi tartamkísérlet 30 éve. MTA TAKI. Budapest. 1–248.
- Klecskowszkij, V. M.–Peterburgszkij, A. V.*: 1964. *Agrohimija*. Izd. „Kolosz”. Moszkva.
- Lemmermann, O.*: 1925. Die Bestimmungsmethoden des Düngungsbedürfnisses des Bodens. *Z. Pflanzenernähr. Düng. und Bodenkunde*. 4: 39–52.
- Lemmermann, O.*: 1930. Über die heutigen Laboratoriums-Methoden zur Bestimmung des Düngungsbedürfnisses der Böden. *Pflanzenern. Dgg. u. Bodenkunde*. B 9: 1–17.
- Liebig, J. v.*: 1840. Die Chemie in ihrer Anwendung auf Agriculture und Physiologie. 9. Aufl. Vieweg und Sohn. Braunschweig. 1876.
- 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 der Bodenlehre von Blank.] Springer Verlag, Berlin. 8: 567–599.
- Salmon, S. C.–Hanson, A. A.*: 1970. A mezőgazdasági kutatás elméleti és gyakorlati problémái. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Sarkadi J.–Balla A.-né–Miklayné T. E.*: 1984. Műtrágyázási tartamkísérletek eredményei mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon. I. N- és P-műtrágyahatások az őszi búza kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. 33: 355–374.

Scserba, Sz. V.: 1954. Metodika polevogo opüta sz udobrenijami. [In: Agrohímicseszkie metodü isszledovanija pocsv.] Izd. Akad. Nauk. SzSzsR. Moszkva. 389–445.

Tisdale, S. L.–Nelson, W. L.: 1966. A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

Wagner, F.: 1959. Die Technische Durchführung von Feldversuchen. Paul Parey Verlag. Berlin-Hamburg.

Wolff, E.: 1864. Entwurf zur Bodenanalyse. Die Ladw. Versuchst. 6: 1–141.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

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