

SZEMLE

Review

Új kihívások és módszerek a növénytermesztési kutatásban

BERZSENYI ZOLTÁN

MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár

Összefoglalás

A növénytermesztés, mint a biológiának bármely más területe, a komplex folyamatok megértésére törekszik. Számos forrásból és diszciplínából az ismeretek szintézise szükséges a sürgős és gyakorlati problémák megoldásához. A növénytermesztés kialakította a kísérleti és elméleti módszerek széles skáláját, többek között a szántóföldi kísérleteket, a fiziológiai kutatásokat és a környezeti fizikai módszereket. A növekedésanalízis, *sensu lato*, magában foglalja a növények vagy növényi szervek produkciójának kvantitatív tanulmányozását, integrálva a vizsgált rendszerekben és az ökológiailag vagy agronómiailag értelmezhető intervallumokban. A növekedésanalízis lehetőséget nyújt a produkciót befolyásoló különböző faktorok *independens* és *interaktív* hatásának tanulmányozására. A növényfiziológia szerepet játszhat azoknak a növényi folyamatoknak az azonosításában, amelyek fontosak a termés és a minőség meghatározásában, más növényi folyamatokkal összefüggésben. A diszciplína teljes tartományának kell arra törekedni, hogy biztosítsuk az ismeretek integrációját a genom szintjétől a szántóföldön termesztett növényig.

Kulcsszavak: szántóföldi kísérletek, növekedésanalízis, fiziológia, termésreakció

New challenges and approaches for crop production research

Z. BERZSENYI

Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár

Summary

Crop production, as any other biological field of study, is faced with understanding complex processes. It also has to synthesize knowledge from many sources and disciplines to solve immediate and practical problems. Crop production has generated a range of experimental and theoretical methodologies, among which are empirical field trials, physiology and environmental physics. Plant growth analysis, *sensu lato*, involves the quantitative study of the performance of plants or plant components, integrated both throughout the system under study and across ecologically and agronomically meaningful intervals of time. Growth analysis provides an excellent opportunity to monitor the independent and interactive effects affecting crop productivity, and opens new way to managing these factors in integrated systems. Crop physiology can play a role, by identifying those plant processes that are important in determining yield and quality in the context of other plant processes. A full range of disciplines need to be pursued actively to ensure the integration of knowledge from the genom to the crop in the field.

Key words: field experiments, growth analysis, crop physiology, crop response

A növény-környezet interakciók kvantitatív megközelítése

A növénytermesztési kutatás körültekintően megtervezett és több ismétlésben beállított szántóföldi kísérleteken alapul, melyekből részletes adatokat kapunk, rendszerint több éves időszakban, mielőtt bármely dedukciót vagy konklúziót levonhatnánk. A növénytermesztési kutatás módszerét négy általános lépés jellemzi: a probléma meghatározása, hipotézis felállítása, bizonyítékok kutatása (elsősorban kísérleti úton) és következtetések levonása. Ezt a folyamatot illusztrálja nagyon leegyszerűsített formában az *1. ábra*. A kutatás megfigyelési és kísérleti fázisai egyformán fontosak, éppen úgy, mint a modellezési fázis. A tudományos ismeret nem csupán megfigyelési adatokat jelent, hanem magában foglalja a hipotézist, amely összhangban van az adatokkal, és a folyamatos interakció a hipotézis (ahogyan gondoljuk, hogy a rendszer működik) és a megfigyelési adatok (ahogy a rendszer ténylegesen működik) között vezet az

előrehaladáshoz. A vizsgálat kezdeti stádiumai a növény-környezet rendszer viselkedésének többnyire kvalitatív leírását adják. További előrehaladás bármely rendszer megértésében szükségessé teszi a kvantitatív megközelítést. A matematikai modellek felhasználhatók a hipotézisek felállítására, tesztelésére, továbbá predikciók generálására. Lehetnek empirikusak, amikor nem teszünk kísérletet a szóban forgó mechanizmus leírására. A mechanisztikus modell rendszerint megkísérel megmagyarázni a jelenséget az organizáció mélyebb szintjén és valószínűleg a növény-környezet rendszer pontosabb predikcióját adja eltérő környezetben (1. ábra).

1. táblázat. A modellek szerepe a tudományos kutatásban

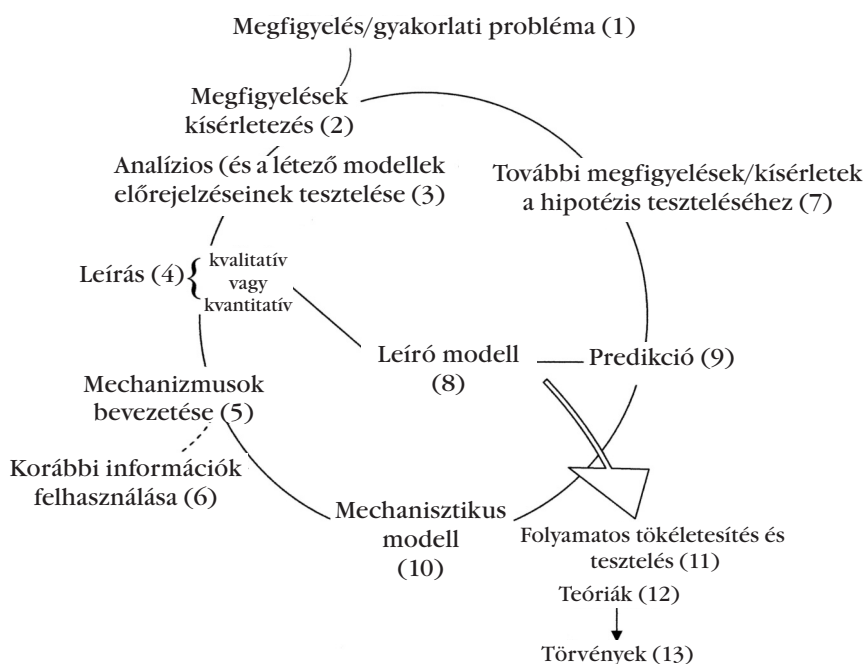


Figure 1. The role of models in scientific method. (1) Observation/practical problem, (2) Observation, experiments, (3) Analysis (and testing the predictions of the existing models), (4) Description (qualitative or quantitative), (5) Introducing mechanisms, (6) Utilising earlier combinations, (7) Further observations/experiments for the testing of the hypothesis, (8) Descriptive model, (9) Prediction, (10) Mechanistic model, (11) Continuous improvement and testing, (12) Theories, (13) Laws.

A kutatás bármely ága, ahogy a kvalitatívtól a kvantitatív irányba halad, egyszer eléri azt a pontot, ahol a biometria használata a teória és a kísérlet összekapcsolására egyre fontosabbá és hasznosabbá válik. Nem lehet eléggé

hangsúlyozni, hogy a biometria csupán egy módszer, amely lehetővé teszi a kutatónak, hogy biológiai hipotézisét kifejezze olyan módon, hogy a kvantitatív predikció lehetővé váljék, amely azután összehasonlítható a valós világgal.

Alap kutatás, alkalmazott kutatás és fejlesztés

Az alap kutatás, a fejlesztés és az alkalmazott kutatás hozzájárulását az alapismeretekhez és az alkalmazott ismeretekhez a mezőgazdaságban *France* és *Thornley* (1984) tárgyalta behatóan. Az alap kutatásban a kutató választja ki azt a problémát, amelyről úgy gondolja, hogy megoldható az alapismeretek adott szintjén és a rendelkezésre álló források figyelembevételével. Az alap kutatás célja az ismeretek bővítése és a kutató saját maga állítja fel annak a rendszernek a határait, amelyet vizsgálni akar. A fejlesztés a technológiában (alkalmazott ismeretek) észlelt, bizonyos hiányosságok kijavítására törekszik, azonban feltételezzük, hogy az alapismeretek jelenlegi szintje elegendő a probléma megoldásához. A fejlesztési munkában az alapismeretek egy részét transzformáljuk az alkalmazáshoz megfelelő formába.

Az alkalmazott kutatás úgy tekinthető, mint az alap kutatás és a fejlesztés bizonyos sajátosságainak kombinációja. A fejlesztéshez hasonlóan a vizsgált rendszer határait a probléma határozza meg, jóllehet ebben az esetben figyelembe kell venni, hogy az alapismeretek bővítése szükséges a probléma megoldásához. Az alap kutatás előnyei általában nem kvantifikálhatók, kivéve a történelmi bizonyítékokat. Az alap kutatásból származó feltalálások előrejelezhetőségi szintje nagyon korlátozott. Mind az alkalmazott kutatás és mind a fejlesztés probléma megoldás, így annak előnyei, illetve költségei rendszerint becsülhetők. A növénytermesztési kutatás alapvetően alkalmazott kutatás, azonban az alapismeretek bővítésekor (pl. tartamkísérletekben végzett kutatás) részben alap kutatásnak tekinthető.

Növénytermesztési kísérletek sajátosságai

A növénytermesztés, mint a biológiának bármely más területe, a komplex folyamatok megértésére törekszik. Számos forrásból és diszciplínából az ismeretek szintézise szükséges a sürgős és gyakorlati problémák megoldásához. A növénytermesztés ritkán tud elérni teljes megértést a tábla szinten és a gazdaság szintjén, mivel számos összefüggés és visszacsatolás van az időjárás, a talaj, a növény és az agrotechnika között. A növénytermesztési kutatás ezért szigorú kísérletezési módszertant fejlesztett ki. Valóban, a növénytermesztés kialakította

a kísérleti és elméleti módszertan széles skáláját, többek között a szabadföldi kísérleteket, a fiziológiai kutatásokat (szabályozott környezetben) és az öko-fiziológiai módszereket.

A szabadföldi kísérletek az agronómia repertoárját képezik évtizedek óta és a mezőgazdasági kutatás fontos részei maradnak még hosszú ideig. Ritkán identifikálnak kapcsolatot a fizikai környezet és a termés között, így hely-specifikusak, az egyik helyen kapott eredmények ritkán alkalmazhatók máshol. Az agronómia különböző területeinek, amelyek kutatják azokat a mechanizmusokat, amelyek összekapcsolják a vizet, a talajt és a növényt, fontos funkciója a szántóföldi kísérleti eredmények kiterjesztése. A szántóföldi kísérletek hozzájárulnak az ok és okozat megértéséhez, lehetővé teszik továbbá a növények és termesztési szisztémák jövőbeni teljesítményének előrejelzését. Ebben az összefüggésben, a modern eljárások, mint amilyenek a számítógépes termés és növekedési modellek, fontos szerepet játszanak a kísérleti eredmények kiterjesztésében.

A növény és a környezet összefüggésének tanulmányozására fontosak a szabályozott környezetben (pl. fitotronban) végzett növénytermesztési kísérletek, ahol a szabadföldi kísérletek heterogenitása és a tényezők közötti kapcsolatok kiküszöbölhetőek. Klímakamrákban vizsgáljuk a fényt, a vizet, a tápanyagokat, a hőmérsékletet, a fotoperiódus és más változók independens hatásait. E kísérletek lényeges sajátossága, hogy megtörünk néhány kapcsolatot a környezeti változók között. Experimentális korlátozása a kapcsolatoknak a folyamatok és a környezet között, gyakran kivált nem tipikus reakciókat a növényben. A növénytermesztőknek nem szabad feltételezni, hogy ilyen esetekben a vizsgált faktor kis mértékű hatást fejt ki, vagy egyáltalán nincs hatással szántóföldön. A végső cél az, hogy visszatérjünk az eredeti problémára szántóföldön, és ehhez a feltört kapcsolatok igazi hatására a megismert folyamatokból kell következtetni.

A valóságban nagyon nehéz megtenni ezt a visszatérést a szántóföldre. A problémákkal különböző skálákon kell megbirkózni a különböző tudományterületeket képviselő szakembereknek, mint amilyen a talajtan, a fiziológia és a genetika. Amikor a diszciplínák izoláltak maradnak, a szántóföldi skálájú problémákat ritkán oldják meg. Még akkor is, ha a diszciplínák összekapcsolódnak, a skálázásnak alapvető tudományos kihívása van, amennyiben valamilyen elméleti vagy matematikai eljárást használunk arra, hogy előre jelezzük a kísérleti mérésekből azt, ami valószínűleg bekövetkezik a növényállomány szintjén (*Gardingen et al. 1997*).

A tudomány néhány területén olyan keveset tudunk a faktorok közötti kapcsolatokról a populáció, a tábla vagy a felvételezési terület skáláján, hogy a következtetések csupán becslésnek tekinthetők. A globális környezeti változás vegetációra gyakorolt hatásának előrejelzése nagyon bizonytalan, mivel a kísérleteket nem lehet végezni olyan skálán, mint amelyre a kérdés vonatkozik. A bevezetett gének és fajták sorsa ugyancsak sajátos skálázási problémákat képvisel. A növénytermesztés szerencsés abban az értelemben, hogy a kísérletezés a termesztési gyakorlathoz közeli, reális skálán lehetséges.

Hazai szántóföldi kísérletezés és kísérletértékelés

Cserhádi Sándort (1852–1909) tekintjük a hazai szántóföldi kísérletezés úttörőjének és atyjának. Nevéhez fűződik a nagyüzemi kísérletek hálózatának beindítása. Holdas parcellákon állított be talajművelési, trágyázási fajtakísérleteket búzával, árpával és más növényekkel. Ő csak a kísérleti adatoknak hitt, azokat dolgozta fel és építette be kiterjedt publikációs tevékenységébe. *Bócsa* (2002) méltatásában a következőket írta: „Cserhádi egy személyben testesítette meg az egész magyar állami kísérletügyet, mint ahogy Magyaróvár testesítette meg annak idején az egész magyar agrárkutatást.” *Cserhádi* (1905, 1906) műveiben korszerű és napjainkban is érvényes alapelveket fogalmazott meg a trágyázási kísérletekről. Hangsúlyozni szükséges, hogy még mintegy negyed évszázad telik el addig, amíg *Fisher, R.A.* a múlt század harmincas éveiben a rothamstedi tartamkísérletek adatai alapján kidolgozta a korszerű szabadföldi kísérletezés és kísérletértékelés (varianciaanalízis) alapelveit.

A „Növénytermelés” tudományos folyóirat első évfolyamának első számában, 1952-ben egy nagyszerű cikk jelent meg a kísérleti eredmények átviteléről a gyakorlatba, *Várallyay György* tollából. „Természetesen a kísérleti eredmények gyakorlatba való átvitelének megvannak a maga módjai és eszközei. Egyik eddig eléggé ki nem használt eszköz a gyakorlati klíma- és talajvizsgálat: a gyakorlati termőhely ismeret... Tehát a kísérleti hely és a mezőgazdasági nagyüzem termőhely viszonyainak összevetése a legjobb eszköz és mód arra, hogy a kísérleti eredmények nagy és megfelelő területre érvényesíttessenek.” – írta *Várallyay* (1952), és gondolatait a következőképpen összegezi: „A nagyüzemi termesztést üzemi feltételek között végzett, több éven át tartó, ismétléses kisparcellás kísérletekkel irányítsuk olyanformán, hogy ezek eredményeit tömeges, gyakorlati talajvizsgálatokkal, üzemi talajtérképekkel érvényesítsük a mezőgazdasági nagyüzem egyes tábláira.”

A kisparcellás kísérletekből adódó eredmények széles körű üzemi kísérletekkel való ellenőrzésének szükségességére *Sarkadi* (1952) mutatott rá. Az 1970-es évektől a termelési rendszerek kutatása révén fokozódó figyelmet kaptak az üzemi kísérletek, az 1980-as években kidolgozták e kísérletek biometriai értékelésének módszerét. Ugyanakkor hangsúlyozni szükséges, hogy az üzemi kísérletek termelő-orientáltak, interdiszciplinárisak és miközben kiegészítői a kisparcellás kísérleteknek, nem helyettesítik azokat. A szántóföldi kísérletezésnek újabb, nagy lendületet adott az 1966/67 években az egységes országos műtrágyázási tartamkísérletek (OMTK) beállítása. A kutatási program tudományos és gyakorlati igényeknek megfelelő kidolgozását kezdettől fogva *Láng Géza* vezetésével *Bocz Ernő*, *Debreczeni Béla*, *Sarkadi János*, *Sváb János* és *Wellisch Péter* végezték (*Debreczeni és Debreczeniné* 1994). Az OMTK-en kívül Magyarországon több, nagyon értékes növénytermesztési tartamkísérlet is van, többek között Martonvásáron, Keszthelyen, Debrecenben, Szegeden és Kompolton. Ezek a tartamkísérletek a növénytermesztési tényezők (vetésforgó, genotípus, talajművelés, trágyázás, öntözés, agrotechnika) independens és interaktív hatásának vizsgálatában különösen jelentősek. Hozzájárulnak a termésmenvelés útjainak feltárásához és a fenntartható termesztéstechnológiák tudományos megalapozásához.

A kísérletek értékelésében fontos mérföldkő *Sváb János*: „Biometriai módszerek a kutatásban” c. könyvének megjelenése 1967-ben. *Sváb* (1967) az elődökről így emlékezik meg: „Erkölcsei kötelezettséget jelent annak az útnak a folytatása, amelyet a mezőgazdaság területén a korszerű kísérleti módszerek hazai ismertetésével néhány lelkes úttörő, így *dr. Telegdy-Kováts László*, *Horváth Alajos*, *dr. Berzsényi-Janosits László* és *dr. Terts István* elindított.” *Sváb János* által képviselt tudományos iskolában több évtizeden keresztül kutatók generációi sajátították el a szántóföldi kísérletezésnek és kísérletek biometriai értékelésének módszereit.

Sváb 1980-ban állította fel azt a tézisét, mely szerint a kutatás két iránya, a kísérletes kutatás és a táblasoros elemzés a kutatási rendszerben egységet alkotva, együtt szolgálják a növénytermesztés fejlődését (*Sváb et al.* 1980). Az üzemi termesztés táblasoros elemzésével (exploratív adatelemzés) e kutatási irányzat arra keresett választ, hogy mely termesztési tényezők befolyásolják legerősebben a táblánkénti átlagterméseket. Egyben a meglévő termesztéstechnológiai elemek és a termés olyan összefüggéseinek feltárására is mód nyílik, amelyre a lehetséges kombinációk sokrétűsége miatt a kísérletes kutatás nem alkalmas. Ez már a többváltozós biometriai módszerek bevezetésének időszaka, amely ugyancsak *Sváb János* nevéhez fűződik. Ezeket az alapvetően szinteti-

záló módszereket a „Többváltozós módszerek a biometriában” című könyvében foglalta össze (Sváb 1979).

Napjainkban a növénytermesztési kísérletek biometriai értékelésében új távlatokat nyitott a számítógépes adatfeldolgozás és értékelés általánossá válása. Speciális statisztikai programcsomagok állnak rendelkezésre, amelyek lehetővé teszik a sokoldalú és mélyreható analíziseket. Ugyanakkor a számítógépes programok feltételezik a biometriai módszerek ismeretét és a megfelelő jártasságot a programok használatában. Ezzel egyidejűleg megnöttek a kísérletek értékelésével szemben támasztott igények is.

Agronómiai reakciók vizsgálata a biológiai szerveződés különböző szintjein

A kultúrnövények reakcióit tanulmányozhatjuk a biológiai szerveződés (organizáció) különböző szintjein, így a növényállomány, a növényegyed és a növényi szerv szintjén, valamint sejt- és molekuláris szinten. A 2. ábra mutatja a szerveződés különböző szintjeit a növénytermesztési rendszerekben. A növénytermesztők rendszerint a termés előrejelzésében érdekeltek, azaz a predikciót az organizáció növényállomány szintjén végzik. A szerveződés alacsonyabb szintjein végzett kutatások hasznosak a növényi reakciók sejt- és molekuláris szintű mechanizmusainak feltárásához. Kutatások szükségesek a szerveződés magasabb szintjein, ha meg akarjuk érteni a genotípusok vagy az agrotechnika változásának hatásait a növényi produkcióra, vagy a növényállomány más tényezőire. Ennek oka az, hogy ezek a különböző szintek hierarchikusak, és a szerveződés magasabb szintjeinek is megvannak az egyedülálló fontos sajátosságaik. A növényállomány szintű funkciók határozzák meg, hogy a növény produktivitása nő-e a fajta vagy az agrotechnika változásával. A növénytermesztési kutatásokban szükség van az integrált és redukcionista megközelítésre egyaránt, amikor a növények reakcióit tanulmányozzuk. A növénytermesztők a genotípusok agronómiai (pl. műtrágya-, vetésidő-, növényszám-) reakcióit a szerveződés különböző szintjein (növényállomány, növényegyed és növényi szerv) tanulmányozzák. A kutatás célja a genotípusok közötti terméskülönbségek kvantifikációja mellett, azoknak a faktoroknak a feltárása, amelyek felelősek a termésben mérhető különbségek kialakulásáért. A genotípusok agrotechnikai reakcióinak vizsgálatában úttörő munkásságot végzett többek között Bocz (1976), Györfly (1979) és Menyhért (1985).

Új kihívások a növénytermesztési kutatásokban

A növénytermesztési kutatások jelentősége várhatóan nő az elkövetkező időszakban. Az 1990-es évektől a fontosabb kultúrnövényekben – a világ különböző országaiban eltérő termésszinteken – nincs olyan határozott termésmegnövekedési trend, mint amit tapasztaltunk az 1980-as években vagy azt megelőzően. Ezáltal egyre határozottabb az a törekvés, hogy megvizsgálják a termésmegnövekedés agronómiai, ökológiai és fiziológiai tényezőit és ennek alapján feltárják a termésmegnövelés további útjait (retrospektív analízis). Emellett egyre nagyobb hangsúlyt kap a potenciális és a tényleges termés közötti különbség csökkentése. Ebben a növénytermesztési kutatásoknak meghatározó szerepe lesz.

2. ábra. Összefüggés a szerveződés különböző szintjei között a termesztési rendszerben, modellekben használt időlépték minden egyes szinten, és a modellek adatbázis szükséglete

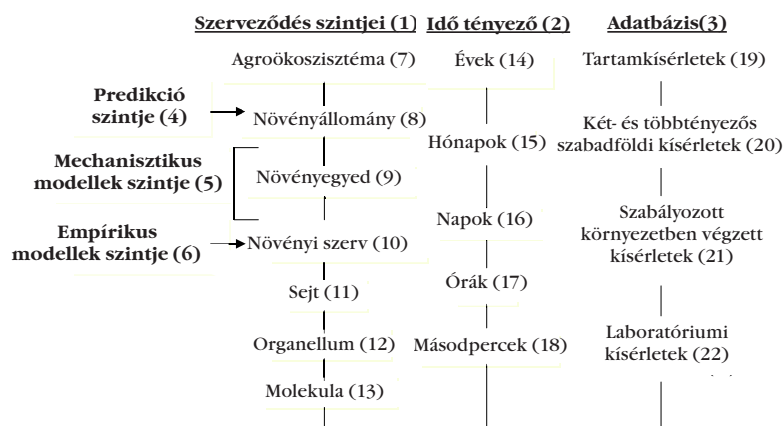


Figure 2. Relationship between various levels of organisation in a crop system, the time steps used in models at each level, and the databases needed to generate the models. (1) Levels of organization, (2) Time factor, (3) Database, (4) Level of prediction, (5) Level of mechanistic models, (6) Level of empiric models, (7) Agroecosystem, (8) Plant population, (9) Plant, (10) Plant organ, (11) Cell, (12) Organella, (13) Molecule, (14) Years, (15) Months, (16) Days, (17) Hours, (18) Seconds, (19) Long-term experiments, (20) Bi- and trifactoral field experiments, (21) Experiments carried out in controlled environment, (22) Laboratory experiments.

Napjainkban felmerülő számos fontos kérdés, mint a termesztéstechnológiai fenntarthatósága, a környezeti hatások, a klímaváltozás, az életminőség és a vidék társadalmi értékelése, egyaránt hosszú távú tanulmányozást indokol a megfelelő válaszok és információk elnyeréséhez. További új kihívást jelent az elkövetkező 50 évben az élelmiszerek iránti szükséglet növekedése várhatóan 70–85%-kal.

A tudományos diszciplínák határvonalai módosultak az utóbbi 15–20 évben. A növénytermesztési kutatásokra a redukcionista és holisztikus kutatási irányzatok egyaránt hatással vannak. A redukcionista kutatási törekvések eredményeként a növénytermesztési kutatások magukba foglalják a növényélettani kutatások (crop physiology) egy részét a növényállomány, a növényegyed és a növényi szerv szintjén. Ezeken a szinteken a növényi reakcióknak az agronómiai szempontból fontos fiziológiai aspektusait ma már szántóföldön megfelelő pontosságú ökofiziológiai műszerekkel mérni tudjuk.

A holisztikus kutatási törekvések hatásaként a növénytermesztési kutatások területe kiszélesedik. A szabadföldi kísérleteken alapuló kutatások mellett magába foglalja a szimulációs modellek és a döntéstámogató rendszerek alkalmazását. A növénytermesztési kutatások egyre inkább a szántóföldi kísérletezés és a modellezés egységét valósítják meg. A folyamatos kísérletezés, a monitoring és a szimulációs modellek együtt jelentenek hatékony megközelítést a növény, a talaj, az időjárás és a köztük levő interakcióknak a megértéséhez és ily módon elősegítik a termesztési rendszerek fenntarthatóságát (*Berzsenyi* 2002). Holisztikus, rendszer-orientációjú megközelítést indokol a növénytermesztési kutatásban a társadalmi elvárás, nem csupán a termés érdekében, hanem a nem-megújítható források megőrzéséért, a biodiverzitásért, a biztonságos és egészséges élelmiszerért, valamint a jövedelmező és fenntartható termesztésért. A kutatásnak demonstrálni kell társadalmi felelősségét a tudományos életben és a szakmai gyakorlatban egyaránt.

A kutatási eredmények iránti igény is módosult a termesztési gyakorlat oldaláról. A kutatástól a termelés gyors és részletes válaszokat vár a felmerült kérdésekre. Ezáltal előtérbe kerülnek a komplex kutatási projektek. Ugyanakkor egyre fontosabbá válik a termelők részvétele a kutatás különböző fázisaiban. A növény-talaj kutatási rendszerben bizonyos hangsúly-eltolódás érzékelhető az utóbbi évtizedben. Megnőtt a növény vizsgálatának, a folyamatos monitoringnak a jelentősége. A növényvizsgálatok ugyanis pontos, gyors válaszokat tudnak adni az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról.

Növekedésanalízis és termésképzés

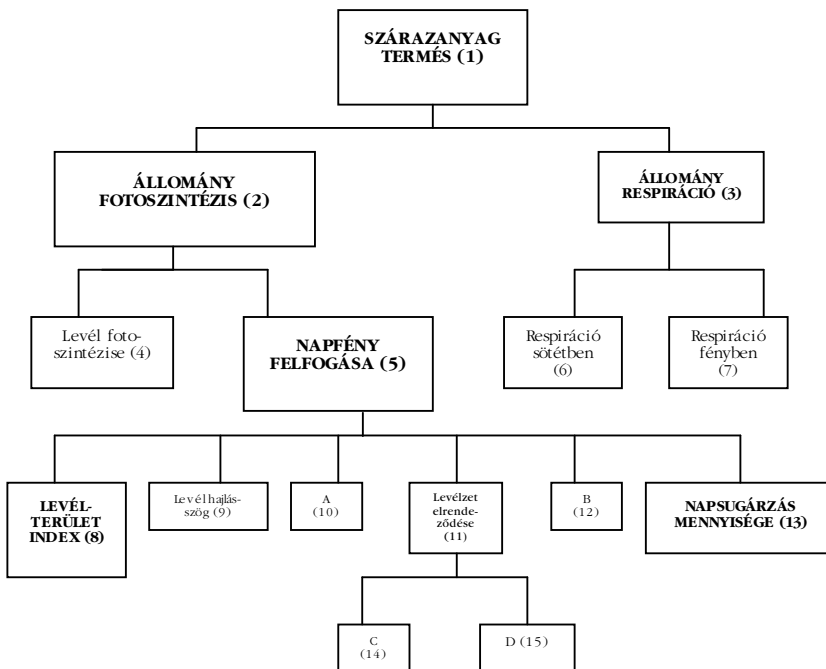
A növénytudomány parallel megközelítése volt mérni és interpretálni a termést a növekedési és fejlődési folyamatokon keresztül. Az 1960-as évektől a növénytermesztés legtöbbet abból a szisztematikus fejlődésből merített, amelyet a környezetfizika alkalmazása nyújtott a növekedésanalízis koncepciójának és módszereinek bevezetésével (*Hunt* 1982).

A növekedésanalízis a növénytermesztésben alkalmazható tudományos módszer, amely lehetővé teszi, hogy a kísérleti kezelések és a környezeti tényezők hatását ne csak a végső produktumban (szemtermés, biomassa) mérjük, hanem vizsgáljuk a fotoszintetikus produkció dinamikájában bekövetkezett változásokat a növény növekedésének és fejlődésének teljes időszakában. A növekedésanalízis új megvilágításba helyezte először a növényfiziológiát, azután az agronómiát és legújabban a növényökológiát. A növekedésanalízis képviseli az első megközelítést a primer produkció vizsgálatában, összekötő híd a növényi produkció leírása és a fiziológiai módszereket alkalmazó analízisek között. A növekedésanalízis alapadatai az egész növény és részeinek (szár, levél, reproductív részek stb.) száraztömege, valamint az asszimiláló szervek nagysága (levélterület és más asszimiláló szervek területe vagy klorofill-tartalom). Az alapadatokból különböző növekedési mutatókat számítunk ki, amelyek leírják a növénynek, illetve különböző részeinek a növekedését, az asszimiláló szervek és a szárazanyag-produkció közötti viszonyt. A növekedésanalízis lehetővé teszi, hogy a növény biomassa képződésének és akkumulációjának, a környezeti és genetikai faktorok által determinált folyamatát elemezzük. A 3. ábra szemlélteti az összes szárazanyag-produkcióra ható különböző faktorokat.

A növényegyed szintjén az RGR (relatív növekedési sebesség) adott időpontban egy fiziológiai (NAR, nettó asszimilációs ráta) és egy morfológiai (LAR, levélterület arány) jellemző szorzatára bontható fel: $RGR = NAR \times LAR$. Növényállományban a szárazanyag-produkció növekedésének sebessége (CGR) függ a NAR-tól és a LAI-tól (levélterület index): $CGR = NAR \times LAI$. Mindezek a mutatók egy keretet adnak a kultúrnövények növekedésanalíziséhez. Az abszolút és relatív növekedési sebesség (AGR, RGR), valamint a termésnövekedés sebessége (CGR) kifejezik a növényegyedek vagy növényállományok örökletes képességét a szárazanyag-akkumulációban, illetve az ökológiai és agronómiai tényezők módosító hatását. A termesztett növények szárazanyag-akkumulációja a levelekben végbemenő fotoszintézis eredménye, így a levélterület és az egységnyi levélterületre vetített produktivitás (NAR) is fontos. A levelek képzése a napsugárzás felfogására (LAI és LAR) és a növények örökletes képessége, hogy átalakítsák a felfogott napsugárzást szárazanyaggá (NAR és RGR), illetve hasznos terméké (HI, harvest index), a növényi produktivitás fontos mutatói. Ezek a mutatók hozzásegítik a növénytermesztőket ahhoz, hogy jobban megértsék a növényegyedek és növényállományok szárazanyag-produkációjának dinamikáját, feltárják a genotípusok eltérő környezeti és agronómiai reakcióinak tényezőit (Berzsenyi 2000).

A növekedésanalízist is magukban foglaló növénytermesztési kísérletek a kutatás magasabb szintjét és új agrotechnikai irányzatot jelentenek. A növekedésanalízis különböző mutatóinak, valamint a kiegészítő agronómiai, ökológiai és fiziológiai méréseknek az alkalmazásával válik lehetővé a növénytermesztési kísérletek eredményeinek tudományos, többparaméteres értékelése. Ezek a szabadföldi mérések pontos és gyors válaszokat adnak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról, valamint a termésképzéssel való kapcsolatukról.

3. ábra. A folyamatábra mutatja a különböző tényezőket, amelyek hatással vannak az összes szárazanyag termésre. A dobozok mérete arányos becslést a relatív fontosságukkal



A: Nem lamináris fényfelfogás (10), B: levél fényfelfogó tulajdonságai (12), C: a levélzet elrendeződése a növényen (14), D: a növények térbeni elrendeződése a táblán (15).

Figure 3. Flow chart showing the different factors affecting total dry matter yield. The size of the boxes is an estimate of relative importance. (1) Dry matter yield, (2) Photosynthesis of the population, (3) Respiration of the population, (4) Leaf photosynthesis, (5) Catching sunlight, (6) Respiration in dark, (7) Respiration in light, (8) Leaf area index, (9) Leaf inclination, (10) Non-laminar light interception, (11) Organisation of canopy, (12) Light interception characteristics of the leaf, (13) Amount of sunlight, (14) Arrangement of canopy on the plant, (15) Spatial arrangement of plants on the plot.

Termesztett növények fiziológiája

A termesztett növények fiziológiája (crop physiology), mint a növényi növekedés, fejlődés és a növénytermesztés megértésének alapja, az 1960-as években alakult ki, helyettesítve az empirikus megközelítéseket a korábbi évek növénytermesztésében. A termesztett növények fiziológiájának két arculata van. Az egyik a növénytermesztés irányába figyel, a környezettel összefüggésben vizsgálja a genotípusok forrás-felvételének és forrás-hasznosításának fiziológiáját, meghatározza az agronómiai és ökológiai reakciók mintázatának fiziológiai komponenseit és feltárja a termésképzés fiziológiáját. A másik oldal a növény-nemesítés irányába tekint és törekszik identifikálni és analizálni azokat a folyamatokat, amelyek limitálják a termés növelését, feltárja a terméspotenciál, a termésminőség és a stressztolerancia javításának útjait.

A növény termését egy adott környezetben közvetlenül meghatározzák a rendelkezésre álló források, a növény által felvett források hányada, a növény hatékonysága a felvett források szárazanyaggá konvertálásában és a szárazanyag-nak a betakarított termésbe allokkált hányada. A növekedést és termést limitáló biológiai és fizikai kockázati tényezők hatása függ a növény toleranciájától, rezisztenciájától és érzékenységétől e tényezőkkel szemben. A növénytermesztő kutatók és oktatók egyre szélesebb köre használja fel a termesztésfiziológiai kutatásokat a termésképzés környezeti és fiziológiai összefüggéseinek feltárására (*Westgate et al.* 2004).

A korszerű növénytermesztési kutatást és oktatást napjainkban az ökofiziológiai irányzat jellemzi. A termesztett növények fiziológiája szerepet játszhat azoknak a növényi folyamatoknak az identifikálásával, amelyek fontosak a termés és a minőség meghatározásában, más növényi folyamatokkal összefüggésben, integrálva modellekbe és előrejelzésekbe, a környezet és az agrotechnika különböző kombinációira. A diszciplínák teljes tartományának kell aktívan arra törekedni, hogy biztosítsuk az ismeretek integrációját a genom szintjétől a szántóföldön termesztett növényig. A jövőben a növénytermesztőknek a táblánál nagyobb térbeli skálát és egy évnél hosszabb időbeni skálát kell figyelembe venni. Ez szükségessé teszi új gondolkodásnak az adaptálását, a termésképzés megértésén és előrejelzésén túlmenően (*Hay és Porter* 2006).

Az új tudományos ismeretek és alkalmazásuk jelentős eredményeket értek el az elmúlt fél évszázadban. Azok a faktorok, amelyek meghatározzák a változásokat a növényállomány és a környezet között, alaposan megértetté váltak, és széles körű fiziológiai kapcsolatot tártak fel a növényi növekedés és a termésképzés között (*Nagy* 2007). A növény-nemesítés, a növénytermesztés, valamint

a növényvédelem folyamatai tökéletesedtek, és olyan növényfajtákat és termesztési módszereket (pl. precíziós növénytermesztés) eredményeztek, amelyek meglepően felülmúltak minden korábbit.

Köszönetnyilvánítás

A kutatást az OTKA (száma: K 61957) pályázat támogatásával végeztük.

IRODALOM

- Berzsenyi Z.*: 2000. Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Egyetemi jegyzet PhD hallgatóknak. Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
- Berzsenyi Z.*: 2002. Az agrotechnikai kutatások szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. 50 éves az Acta Agronomica Hungarica. Jubileumi tudományos ülés. 2002. november 19. Martonvásár. 39–47.
- Bocz E.*: 1976. Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bócsa I.*: 2002. Cserháti Sándor (1852–1909). Cserháti Sándor /1852–1909/ Tudományos Emlékkülés előadásainak gyűjteményes kiadása. Nyugat-magyarországi Egyetem. Mosonmagyaróvár. 2002. november 21. 5–9.
- Cserháti S.*: 1905. Általános és különleges növénytermelés I. Nitsmann József Könyvnyomdája, Győr.
- Cserháti S.*: 1906. Általános és különleges növénytermelés II.(2. bővített kiadás). Nitsmann József Könyvnyomdája, Győr.
- Debreczeni, B.–Debreczeni B.-né.*: 1994. Trágyázási kutatások 1960–1990. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- France, J.–Thornley, J. H. M.*: 1984. Mathematical models in agriculture. Butterworths, London.
- Gardinen, P. R.–Foody, G. M.–Curran, P. J.*: 1997. Scalling-up from cell to landscape. Cambridge University Press, Cambridge.
- Győrffy B.*: 1979. Fajta-, növényszám- és műtrágyahatás a kukoricatermesztésben. Agrártudományi Közlemények. 39: 309–331.
- Hay, R.–Porter, J.*: 2006. The physiology of crop yield. Backwell Publishing, Oxford.
- Hunt, R.*: 1982. Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold, London.
- Menyhért Z.*: 1985. A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Nagy J.*: 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Sarkadi J.*: 1952. Hozzászólás Várallyay György „Kísérleti eredmények átvitele a gyakorlatba” című cikkéhez. Növénytermelés. 1. 2–3: 264–265.
- Sváb J.*: 1967. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Sváb J.*: 1979. Többváltozós módszerek a biometriában. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

- Sváb J.–Lőrincz J.–Simits K.*: 1980. Üzemi növénytermesztési adatok biometriai elemzésének módszerei. *Növénytermelés*. 29. 1: 25–36.
- Várallyay Gy.*: 1952. Kísérleti eredmények átvitele a gyakorlatba. *Növénytermelés* 1. 1: 124–126.
- Westgate, M. E.–Otegui, M. E.–Andrade, F. H.*: 2004. Physiology of the corn plant. [In: Smith (ed.) 2004. *Corn: Origin, History, Technology and Production.*] Wiley & Sons. 235–271.

A szerző levelezési címe – Adress of the author:

Dr. Berzsenyi Zoltán
MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete
Martonvásár
Brunszzvik u. 2.
H-2462