

ZÁRÓJELENTÉS

„A KUKORICA HIBRIDEK AGRONÓMIAI ÉS KÖRNYEZETI REAKCIÓINAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA NÖVEKEDÉSANALÍZISEL ÉS ÖKOFIZIOLÓGIAI MÉRÉSEKKEL TARTAMKÍSÉRLETEKBEN” C. OTKA PÁLYÁZATRÓL (SZÁMA: K 061957)

A KUTATÁS MODELLJE ÉS AZ ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

Kutatásaink alapján a növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a kukoricánövény növekedésének – mint biomassza produkciónak – és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktoroknak komparatív vizsgálatára (Berzsenyi, 2000; Berzsenyi, 2003; Berzsenyi, 2009a). 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 és az ökofiziológiai vizsgálatok képezik a gerincét a növénytermesztési kutatások korszerű, természetfiziológiai irányzatának. A növekedésanalízist a növénytermesztésben széles körben alkalmazzák a termésképzés fiziológiájának kutatásában (Petr *et al.*, 1985; Hay és Walker, 1989; Smith és Hamel, 1999). Kiválóan koordinált nemzetközi kutatások folynak napjainkban, hogy feltárják a növekedési ráta és a produktivitás variációinak okait és megmagyarázzák a növényi növekedés örökletes variációjának fiziológiai mechanizmusait és az ökológiai konzekvenciákat (Lambers *et al.*, 1989; Lambers *et al.*, 1998).

A 2006-2008 közötti időszakban végzett növekedésanalízis és ökofiziológiai kutatások a korábbi (OTKA által folyamatosan támogatott) vizsgálatok továbbfolytatását jelentik. Az elemzés mélyebb szintjén, a kutatás döntően a termésképzés agronómiai és ökológiai szabályozásának tanulmányozására, a kukorica hibridek agronómiai és környezeti reakcióinak összehasonlító vizsgálatára irányult a növényállomány, a növényegyed és a növényi szerv szintjén.

A növekedésanalízis vizsgálatokat két- és többtenyezős szabadföldi kisparcellás kísérletekben végeztük, melyeknek egy része 50 éve folyamatosan fenntartott tartamkísérlet. E kísérletekben a kezelések hatása szignifikáns terméskülönbségekben mérhető, azonban kevésbé ismerjük a terméskülönbségek kialakításának agronómiai, ökológiai és fiziológiai tényezőit és a köztük levő interakciókat. A tervezett kutatásokban nagy hangsúlyt helyeztünk az ökofiziológiai vizsgálatokra, különösen új összefüggések feltárására a termés (terméskomponensek) és a kukoricánövény növekedése; a termés és a fotoszintézis; a kukoricánövény N-ellátottsága és a fotoszintetikus produkció között.

A növekedésanalízist is magukba foglaló növénytermesztési kísérletek a kutatás magasabb szintjét és új agrotechnikai irányzatot jelentenek. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerének, valamint a kiegészítő agronómiai, ökológiai és élettani méréseknek az alkalmazásával válik lehetővé a növénytermesztési kísérletek eredményeinek tudományos igényű, többparaméteres értékelése. Ezek a szabadföldi mérések pontos és gyors válaszokat adnak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról és a termésképzéssel való kapcsolatukról (Westgate és Boote, 2000; Berzsenyi, 2009a). Tartamkísérletekben a növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a kukoricánövények növekedésének és a növekedést befolyásoló agronómiai és ökológiai faktoroknak komparatív vizsgálatára.

A növekedésanalízis ún. destruktív módszerével végeztük a vizsgálatokat. A kukoricánövények mintavételét a 4-leveles stádiumban kezdtük meg és 7, illetve 14 naponkénti mintavétellel a fiziológiai érésig folytattuk. A kísérleti kezelések hatásának jellemzésére a növekedésanalízis alábbi mutatóit számítottuk ki: abszolút és relatív növekedési sebesség (AGR, RGR), abszolút növekedési gyorsulás (AAR), levélterület arány (LAR), levéltömeg arány (LWR), specifikus levélterület (SLA), nettó asszimilációs ráta (NAR), termésnövekedés sebessége (CGR), levélterület index (LAI), levélterület tartósság (LAD), biomassza tartósság (BMD) és harvest index (HI).

A növekedésanalízis ún. klasszikus módszerével számítottuk ki a növekedési mutatók átlagos értékeit, mindegyik mintavételi időszakra. Legújabbban Hunt *et al.* (2002) által kifejlesztett programot használtuk a növekedési mutatók átlagos értékeinek (a szórással és a konfidencia intervallumokkal) klasszikus módszerrel történő kiszámítására. A növekedésanalízis funkcionális (függvényillesztésen alapuló) módszerében a növekedési mutatók pillanatnyi értékeinek kiszámítására Hunt-Parsons (1974) növekedésanalízis programját (HP modell) használtuk. A HP modell első-, másod- vagy harmadfokú polinomot illeszt a log-transzformált szárazanyag-produkció és a levélterület idő szerinti értékeihez.

Legújabb kutatásainkban Nath és Moore (1992) által a Richards növekedési függvény illesztésére kifejlesztett növekedésanalízis programot használtuk. A program lehetővé tette a növekedési dinamikák pontos jellemzését, a növekedési sebességek, gyorsulások és kritikus időpontok meghatározásával.

A szabadföldi kísérletekben az alábbi ökofiziológiai méréseket végeztük: fenológiai stádiumok meghatározása; morfológiai paraméterek mérése; termés és terméskomponensek mérése; a termés minőségi paraméterek meghatározása; klorofiltartalom meghatározása SPAD 502 típusú klorofillmérővel, illetve fotometrikusan laboratóriumban; levélterület mérése laboratóriumban Delta-T és LI 3100C típusú műszerekkel, illetve növényállományban LI-300A típusú hordozható levélterület mérővel, továbbá LAI 2000 típusú állományanalizáló műszerrel; a fotoszintézis határfokának mérése növényállományban LCA-4 és LI-6400 típusú hordozható fotoszintézis rendszerekkel; a növény N-tartalmának meghatározása FiaStar-5000 analízáló műszerrel.

Megállapítottuk, hogy a növekedési mutatók egy keretet adnak a kukorica hibridek 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), a növényi produktivitás fontos mutatói. Ezek a mutatók hozzásegítik a növénytermesztőket ahhoz, hogy jobban megértsék a növényegyedek és növényállományok szárazanyag-produkciójának dinamikáját, továbbá feltárják a genotípusok eltérő környezeti és agronómiai reakcióinak tényezőit (Berzsenyi, 2005).

A KUTATÁS EREDMÉNYEINEK RÖVID ÖSSZEFOGLALÁSA

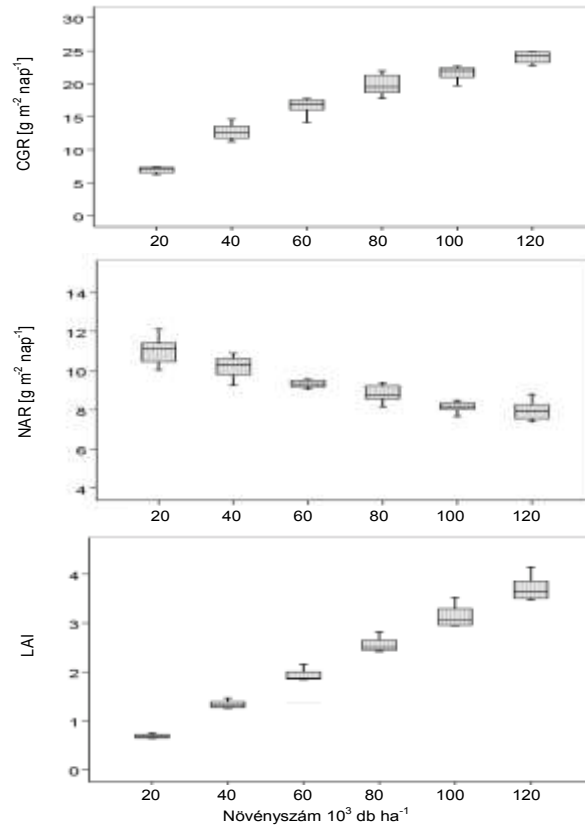
A növényszám hatásának vizsgálata a kukorica hibridek növekedésére

A növényszám hatásának vizsgálata a kukorica hibridek növekedésére a növekedésanalízis klasszikus módszerével (Berzsenyi és Lap, 2006a)

A növényegyed és a növényállomány szintjén a növekedésanalízis lehetővé tette, hogy mélyrehatóan tanulmányozzuk a növényszám hatását a kukorica hibridek biomassza produkciójára, a levélterületre és a különböző növekedési mutatókra. Ugyanakkor a vizsgált tényezők hatásának és kölcsönhatásának jellemzéséhez és értelmezéséhez nagymértékben hozzájárul, ha a növekedési dinamikákat, a növekedési mutatók átlagos és maximális értékeit a teljes növekedési időszakra, továbbá fejlődési stádiumonként, illetve különböző növekedési időszakokban egyaránt összehasonlítjuk.

A növényegyed mutatói közül az RGR és NAR értéke következetesen csökkent, a LAR értéke nőtt a növényszám növelésekor. Az RGR megfelelő integrációját adja a különböző növényi részek együttes teljesítményének, és a növényi növekedés ökológiai szempontból egyik legfontosabb mutatója. Az RGR-t komplex ontogenetikai drift jellemzi, s ennek következtében rendkívül nehéz a környezeti változások relációjában vizsgálni. A NAR a nettó fotoszintetikus ráta hosszú időtartamú mérése, visszatükrözi mind a forrás-ellátottságot (különösen a fényt), mind pedig a levélzet architektúráját. A NAR értékének csökkenésében a növényszám növekedésekor a közvetlenül ható tényező a fény. A LAR ontogenetikai driftje nagymértékben meghatározza az RGR csökkenését. Az adatokból megállapítható volt, hogy elsősorban az SLA – amely rendkívül érzékeny a környezeti változásokra és az ontogenetikai hatásokra – felelős a LAR-nak a növényszám hatására bekövetkezett növekedéséért. A növényszám olyan termesztési faktor, melynek legnagyobb a hatása a LAI-ra és ezáltal a kukoricaállomány fényfelfogására. A CGR növekedése a növényszám hatására összefüggött a nagyobb LAI-val és a kedvezőbb fényabszorpcióval. A hosszabb tenyészedjű hibrideknek nagyobb volt a LAI és a kumulált LAD_{LA} értéke. A növényállomány mutatóinak (CGR, NAR és LAI) növény számtól függő változásából (*I. ábra*) arra lehet következtetni, hogy a produkcióra vonatkozóan az optimális növény szám – hibridtől függően – 60 és $80 \cdot 10^3$ db ha⁻¹ között van.

Eredményeink alapján, *Hunt et al.* (2002) növekedésanalízis programja lehetővé teszi, hogy a növekedésanalízis klasszikus módszerével kiszámítsuk a növekedési mutatók átlagos értékeit és a statisztikai jellemzőket is, ezáltal elkülöníthessük a szignifikáns kezeléshatásokat és feltárhassuk a növekedési mutatók közötti kapcsolatokat egy-egy mintavételi időszakban.



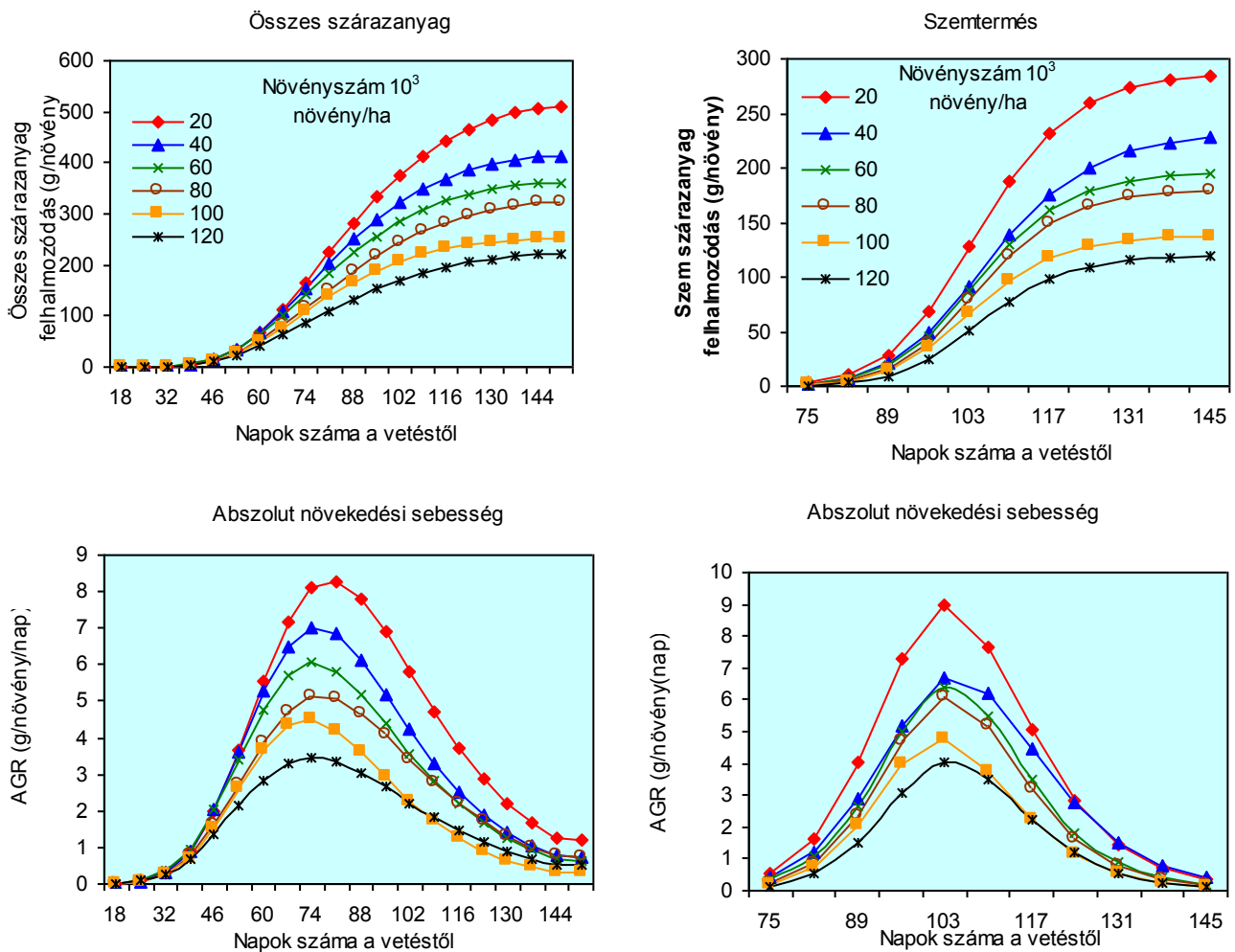
1. ábra. A növényszám hatása kukorica hibridek átlagos termésnövekedési sebességére (CGR), nettó asszimilációs rátájára (NAR) és levélterület indexére (LAI) a vegetatív növekedési periódusban

A növényszám hatásának vizsgálata a kukorica hibridek növekedésére Richards függvénnyel (Berzsényi és Lap, 2006b; Berzsényi és Dang, 2007)

A növekedésanalízis funkcionális módszerében az aszimptotikus függvények közül a Richards függvényt illesztettük a mintavételi adatokhoz (2. ábra). Kutatásainkban Nath és Moore (1992) által kifejlesztett növekedésanalízis programot használtuk. A növényszám hatását és a kukorica hibridek közötti különbségeket legjobban az abszolút növekedési sebesség (AGR) dinamikájával, maximális (AGR_{max}) és átlagos (AGR) értékeivel, valamint az abszolút gyorsulási sebességgel (AAR) tudtuk jellemezni. Az AGR átlagos értéke ($g\ növény^{-1}\ nap^{-1}$) következetesen csökkent a növényszám ($10^3\ db\ ha^{-1}$) növelésekor: 20: 4.66, 40: 4.04, 60: 3.51, 80: 3.03, 100: 2.50 és 120: 2.16.

A szervesanyag-felhalmozódás, az abszolút növekedési sebesség és abszolút gyorsulási sebesség időbeni dinamikájával, valamint a három karakterisztikus időpont (AAR_{max} , inflexiós pont, AAR_{min}) meghatározásával pontosan jellemezni tudtuk a növényszám hatását és a kukorica hibridek közötti eltéréseket. Az aszimptotikus maximum (A), amely egyben kifejezi a növényenkénti biomassza-termelés maximumát, következetesen csökkent a növényszám növelésekor és nagyobb volt a hosszabb tenyészidejű hibridekben. A hibridek átlagában az aszimptotikus maximum értéke ($g\ növény^{-1}$) a növényszám ($10^3\ db\ ha^{-1}$) növelésekor a következő mértékben csökkent: 20: 485.6, 40: 415.3, 60: 357.0, 80: 313.5, 100: 266.6 és 120: 220.3.

Hangsúlyozni szükséges, hogy a növényi növekedés egy dinamikus, nagyrészt kontinuus és matematikailag leírható folyamat, melynek meghatározásakor rendkívül előnyös, ha a vizsgált növekedési folyamat valóságát az illetékt növekedési függvény segítségével tárjuk fel.



2. ábra. A növényesség hatása az Mv 355 (FAO 390) kukorica hibrid szárazanyag-felhalmozódásának (egész növény és szemtermés) és növekedési sebességének időbeni dinamikájára a Richards függvény illesztése alapján

A növényesség hatásának vizsgálata a különböző tenyészidejű kukorica hibridek vegetatív és reprodukív szerveinek növekedésére Richards függvényvel (Berzsenyi és Lap, 2006c)

A növényesség hatását a különböző tenyészidejű kukorica hibridek vegetatív (levél, szár) és reprodukív (cső, szemtermés) szerveinek növekedési (szárazanyag-felhalmozódási) dinamikájára jól tudtuk jellemezni a Richards-függvény illesztésével, a függvény paramétereivel és a derivált növekedési mutatókkal. A kukoricánövény és a különböző szervek növekedésének három jellegzetes időpontját (AAR_{max} , inflexió pont, AAR_{min}) határoztuk meg. A jellegzetes növekedési időpontok bekövetkezésével és ezekben az időpontokban a szárazanyag-beépülés mértékével pontosan jellemezni tudtuk a növényesség hatását és a kukorica hibridek közötti eltéréseket.

Megállapítottuk, hogy a növényesség hatása a különböző szervek szárazanyag-gyapodására kezdetben (AAR_{max} időpontja) kismértékű és a növekedési időszak előrehaladásával fokozódik. A növényesség növelésének hatása a reprodukív szervek tömegének csökkenésére nagyobb volt, mint a vegetatív szervekére. A növényesség hatását és a kukorica hibridek közötti eltéréseket az abszolút növekedési sebesség (AGR) és az abszolút gyorsulási sebesség (AAR) mutatóival tudtuk jellemezni. A kukoricacső és a szemtermés AGR és AAR mutatóinak számszerű értéke jelentősen felülmúlta a

vegetatív szervek mutatóit, ugyanakkor a növényszám hatására a reproduktív szervek mutatóinak értéke nagyobb mértékben csökkent.

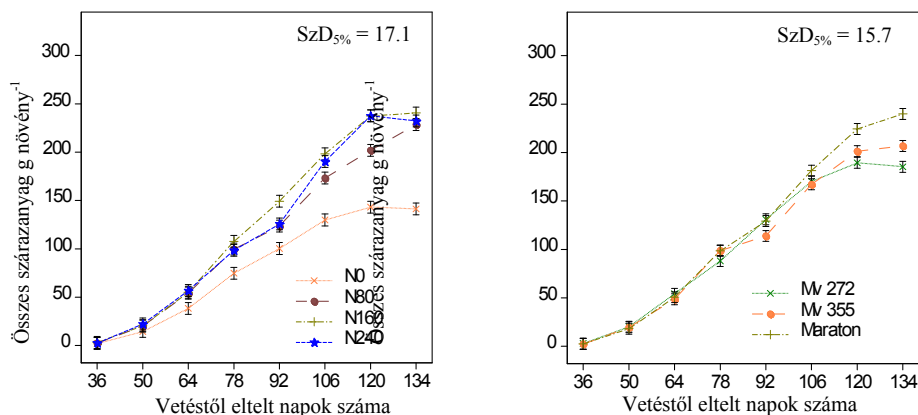
A kukoricánövény morfológiai paraméterei (levélterület, növénymagasság, szárátmérő) jól kifejezték a növényszám hatását és a kukorica hibridek közötti különbségeket. Indirekt növekedési mutatók és a növények destruktív mintavétele nélkül lehetővé teszik a növény növekedésének folyamatos mérését.

A szemtelítődés időszakában (antézistól a fiziológiai érésig) szárazanyag-akkumuláció függ a növekedési rátától és a növekedés időtartamától. A vizsgált kukorica hibridek különböztek a szemtelítődés rátájában és időtartamában. A növényszám növelésének hatására a cső- és a szemtermés növekedési rátájának jelentős mértékű csökkenése következett be, különösen 80 ezer tő ha⁻¹ növényszám felett. A szemtelítődés időtartama kisebb mértékben változott a növényszám hatására. További kutatások szükségesek, hogy meghatározzuk a kukorica hibridek specifikus növekedési rátáit és a növekedési ráta küszöbértékeit a szemképzésben.

A kukorica hibridek N-műtrágya reakciójának vizsgálata növekedésanalízissel tartamkísérletben

Az N-műtrágyázás hatása a kukoricánövény szárazanyag-termelésére és növekedési sebességére (Berzsényi és Dang, 2008b; Berzsényi, 2009b; Berzsényi, 2009c; Berzsényi, 2009d)

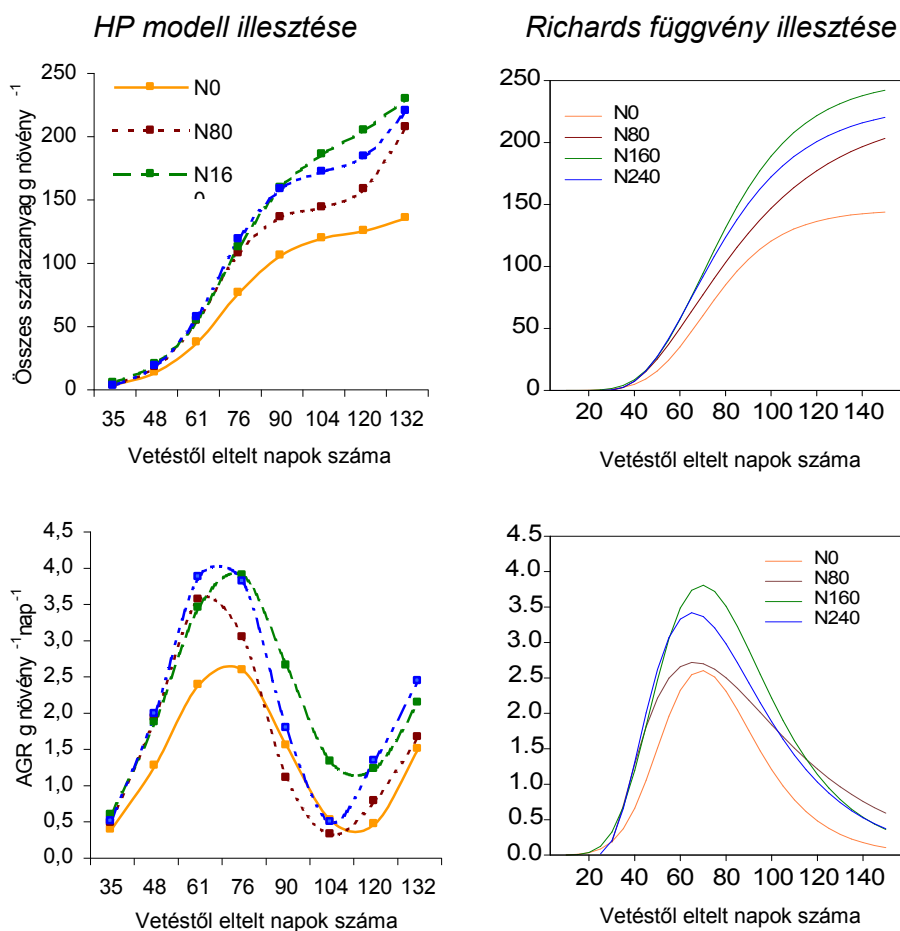
A mérési adatok varianciaanalízise alapján az N-műtrágyázás hatása a szárazanyag-termelésre a 4-6 leveles stádiumtól szignifikáns volt, míg a hibridek közötti különbség a növirágzás stádiumától kezdődően volt szignifikáns (3. ábra).



3. ábra. Az összes szárazanyag-akkumuláció szezonális dinamikája a N-műtrágyázástól és a hibridtől függően a mérési adatok alapján

A Hunt-Parsons program harmadfokú exponenciális függvényvel jellemezte az összes szárazanyag-termelés időbeni dinamikáját. A kukoricánövény időbeni növekedéséhez illesztett Richards függvény szezonális dinamikájában jól felismerhető a kezdeti exponenciális és az ezt követő hosszabb időtartamú lineáris és a végső telítődési szakasz (4. ábra). Az N-műtrágyakezelések közötti különbséget vizsgálva megállapítottuk, hogy az N₀ kezelés görbéje egyértelműen elkülönül a többi N-kezeléstől. Az N₈₀ kezelés görbéje a virágzás előtti időszakban leszakad az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezeléstől, míg az N₁₆₀ és N₂₄₀ kezelések elkülönülése gyakran a szemtelítődés időszaka-ra esik. Korábbi vizsgálatainkban (Berzsényi, 1996), a HP modell illesztésekor megállapítottuk, hogy az évjárártól és genotípustól függően jelentős eltérések lehetnek a szárazanyag-termelés nagyságában és időbeni dinamikájában.

A szárazanyag-termelés dinamikájának N-műtrágyázástól függő eltéréseit pontosan visszatükrözte az abszolút növekedési sebesség (AGR) dinamikája, amely tipikusan harang alakú, ún. Gauss görbe (4. ábra). A Richards függvényből derivált AGR dinamikák a Gauss görbét követik. A HP modell illesztésekor azonban az AGR csökkenő szakasza nem feltétlenül 0-nál fejeződik be, mint a Richards függvény esetében, hanem visszatükrözheti a szárazanyag-akkumuláció átmeneti csökkenését követő újbóli növekedését is. Szakmailag értelmezni kell az eredményt és a tényleges növekedést el kell különíteni a harmadfokú függvény sajátosságaiból adódó dinamikától.



4. ábra. A N-műtrágyázás hatása az Mv 272 kukorica hibrid szárazanyag-termelésének és abszolút növekedési sebességének (AGR) szezonális dinamikájára a HP modell és a Richards függvény illesztése alapján

Jelentős különbségek voltak az AGR maximális és átlagos értékeiben, az N-műtrágyázásnak tulajdoníthatóan. Az összes szárazanyag-termelés AGR értéke az N_0 kezelésben volt a legkisebb és az N-műtrágyázás hatására N_{160} kezelésig nőtt, ezután szignifikánsan nem változott. A Hunt-Parsons program alapján számított átlagos AGR értékek a következők: N_0 : 1.78, N_{80} : 2.24, N_{160} : 2.72 és N_{240} : 2.58 g növény⁻¹ nap⁻¹. A Richards függvény alapján derivált AGR értékek nagyobbak, azonban hasonló tendenciát fejeznek ki: N_0 : 2.13, N_{80} : 2.71, N_{160} : 3.17 és N_{240} : 2.92 g növény⁻¹ nap⁻¹. Az RGR következetesen nőtt az N-műtrágyázás hatására. A klasszikus módszer alapján a vegetatív fázisban N_{80} kezelésig nőtt az RGR értéke 82.6 mg g⁻¹ nap⁻¹-ről 86.0 mg g⁻¹ nap⁻¹-re. A generatív fázisban kisebb értékek jellemzik az RGR-t és N_{160} kezelésig nőtt az értéke, 16.1 mg g⁻¹ nap⁻¹-ről 20.1 mg g⁻¹ nap⁻¹-re. Hasonló tendenciát fejeztek ki a funkcionális módszerrel számított RGR értékek is.

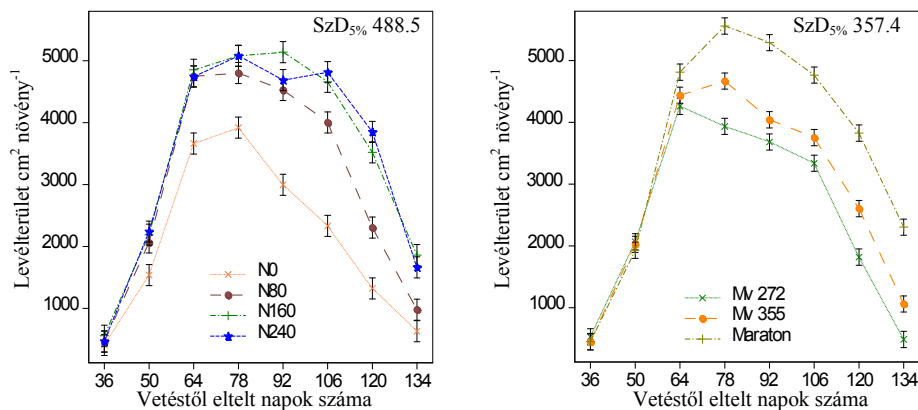
A N-műtrágyázás hatását a szárazanyag allokációra jól kifejezte a harvest index (HI), amely a szemtermés és a föld feletti biomassa termelés hányadosa. Két év átlagában a HI értéke a mérési adatok alapján a különböző N-kezelésekben az alábbi volt (%): N_0 : 46.9, N_{80} : 53.7, N_{160} : 53.3, N_{240} : 54.4. A kedvezőbb évjáratban a HI értéke nagyobb volt, mint kedvezőtlen évjáratban.

Az N-műtrágyázás hatása a levélterület szezonális dinamikájára és növekedési sebességére (Berzsényi et al., 2007; Berzsényi, 2008; Berzsényi 2009c)

A levélterület mérési adatok varianciaanalízise alapján megállapítottuk, hogy az N-műtrágyázásnak és a genotípusnak egyaránt szignifikáns hatása volt a növényenkénti levélterületre. Míg az N-műtrágyázás hatása már az első mérési időpontokban szignifikáns volt, a hibridek közötti különbség a 3-4. mintavételtől volt szignifikáns (Berzsényi, 2009c) (5. ábra). A növényenkénti levélterület az 1-2. mérési időponttól szignifikánsan legkisebb volt az N_0 kezelésben, görbéje gyorsan leszakadt a többi N kezeléstől. Az N-műtrágyázás hatásaként szignifikánsan nőtt a növényenkénti levélterület, azonban az 1-4. mérési időpontban kevésbé különbözött. Ezt követően az N_{80} kezelés kisebb levélterülete szignifikánsan elkülönült az N_{160} és N_{240} kezelésekben mért levélterülettől. Az

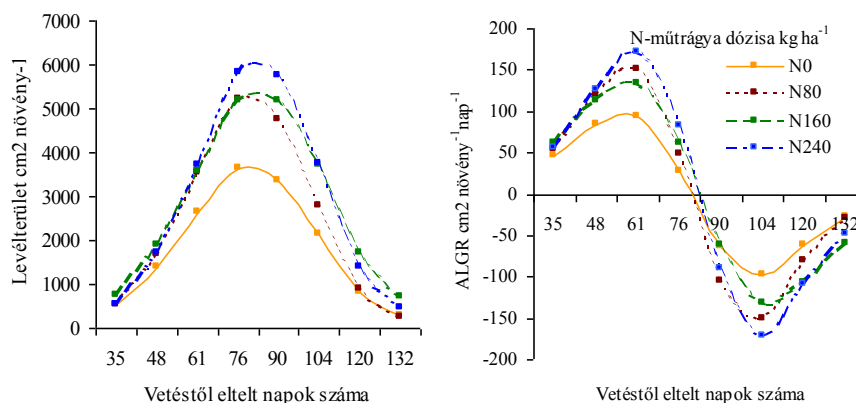
N_{160} és N_{240} kezelések levélterülete közötti különbség mintavételenként változott, azonban mindkét évben legnagyobb levélterületet az N_{160} kezelésben mértünk. Mindkét évben a növényenkénti levélterület a hibridek tenyészidejével mutatott szoros kapcsolatot.

A N-műtrágyázás hatását a levélterület szezonális dinamikájára a Hunt-Parsons program 15 esetben másodfokú és 9 esetben harmadfokú exponenciális függvénnyel jellemezte (6. ábra). Az N_0 kezelésben a levélterület szezonális dinamikája határozottan elkülönült a többi kezeléstől és a legalacsonyabb levélterület értékek ($4045 \text{ cm}^2 \text{ növény}^{-1}$ maximummal) jellemezték (6. ábra). Az N_{80} kezelésben a levélterület nagysága (maximum: $5475 \text{ cm}^2 \text{ növény}^{-1}$) jelentősen felülmúlta az N_0 kezelésben mért levélterületet és a vegetációs időszak nagyobbik részében kisebb volt, mint az N_{160} és N_{240} kezeléseknél. A levélterület az N_{160} és N_{240} kezeléseknél volt a legnagyobb (5764 , illetve $5718 \text{ cm}^2 \text{ növény}^{-1}$ maximummal). A növényenkénti levélterület mérési és számított értékeit összehasonlítva megállapítható, hogy a HP modell kismértékben nagyobb maximális levélterület értéket eredményezett (Berzsenyi et al., 2007).



5. ábra. A levélterület szezonális dinamikája a N-műtrágyázástól és a hibridtől függően a mérési adatok alapján

A levélterület abszolút növekedési sebességének (ALGR) teljes időszakában jól elkülönül a növekedés és a csökkenés időszaka, másrészt a különböző N-kezelések hatása (6. ábra). Az ALGR a N-műtrágyázás hatására jelentősen nőtt, átlagos értéke a következő volt ($\text{cm}^2 \text{ nap}^{-1}$): N_0 : 69.5, N_{80} : 95.7, N_{160} : 100.1 és N_{240} : 100.0. Az ALGR értékére jelentős volt az évjárat hatása. A levélterület index maximális értéke (LAI_{\max}) legalacsonyabb volt az N_0 kezelésben és N-műtrágyázás hatására következetesen nőtt az N_{160} , illetve N_{240} kezelésig. Két év és három hibrid átlagában a LAI maximális értéke a HP modell alapján N-kezelésenként a következő volt: N_0 : 2.83, N_{80} : 3.84, N_{160} : 4.04, N_{240} : 4.01. A levélterület mérési adatok alapján a LAI_{\max} értéke N-kezelésenként a következő volt: N_0 : 2.66, N_{80} : 3.36, N_{160} : 3.44, N_{240} : 3.51. Megállapítható, hogy a HP modell hasonló tendenciát, azonban kismértékben nagyobb LAI_{\max} értékeket határozott meg.



6. ábra. A N-műtrágyázás hatása az Mv 272 kukorica hibrid levélterületének és a levélterület abszolút növekedési sebességének (ALGR) szezonális dinamikájára a HP modell alapján

A nettó asszimilációs ráta (NAR) átlagos értéke a növekedés vegetatív szakaszára vonatkozik és az N_0 kezelésben volt a legkisebb ($8.3 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$), illetve az N_{240} kezelésben a legnagyobb ($9.3 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$). Az N_{80} és N_{160} kezeléseknél a NAR átlagos értéke (9.02, illetve $8.99 \text{ g m}^{-2} \text{ nap}^{-1}$) nem különbözött szignifikánsan egymástól. A klasszikus és funkcionális módszerrel számított NAR értékek hasonlóan fejezték ki az N-műtrágyázás hatását. A levélterület tartósság (LAD) és biomassa tartósság (BMD) kumulált értéke N_{160} kezelésig nőtt és mindkét mutató az N_0 kezelésben hasonló N stressz hatást (29.4-38.3%) fejezett ki az N_0 és N_{240} kezelése összehasonlítása alapján.

Az N-műtrágyázásnak minden évben szignifikáns ($P = 0.1 \%$) hatása volt a kukorica szemtermésére. A terméshatást másodfokú függvény írta le a különböző N kezeléseknél. A szemtermés kedvező évjáratban N_{160} kezelésig, kedvezőtlen évjáratban N_{80} kezelésig szignifikánsan nőtt. A szemtermés N-kezelésenként és évenként a következő volt: kedvező évjáratban: N_0 : 5.603, N_{80} : 8.618, N_{160} : 9.654, N_{240} : 9.774, kedvezőtlen évjáratban: N_0 : 4.211, N_{80} : 7.126, N_{160} : 8.188, N_{240} : 7.766. *Összefüggés-vizsgálatok.* A korrelációs mátrix pozitív, szoros összefüggést mutatott ki a szemtermés és a HI ($r = 0.841^{***}$), a szemtermés és az AGR ($r = 0.757^{***}$), továbbá a szemtermés és a LAI_{max} ($r = 0.610^{**}$) között. Közepes volt az összefüggés a szemtermés és az ALGR között ($r = 0.434^*$). A dimenzionalitás csökkentése főkomponensanalízissel a változók hasonló csoportosulását tárta fel. Eszerint a szemterméssel közös I. főkomponensbe, azonos előjellel és nagy főkomponenssúllyal az alábbi változók csoportosultak: AGR, HI és LAI_{max} . Ugyanebben a főkomponensben 0.5 feletti főkomponenssúllyal vett részt a NAR és az ALGR növekedési mutató. Az első három főkomponens az összes variancia 93%-át tárta fel.

A többszörös regresszióanalízis „stepwise” módszere alapján a HI és a LAI_{max} mutatóknak volt a legnagyobb és pozitív hatása a szemtermésre. A diszkriminanciaanalízis eredménye (Wilks lambda és az F-értékek) alapján megállapítottuk, hogy az N-kezeléscsoportok elkülönítéséhez szignifikánsan hozzájárult a szemtermés, az ALGR, a LAI_{max} és a HI (Berzsényi et al., 2007). Eredményeinkből arra következtethetünk, hogy a növekedésanalízis eredményesen felhasználható a genotípusok N-műtrágyareakciójának többváltozós elkülönítéséhez és lehetővé teszi az N-műtrágyareakció predikcióját a kukoricánövény korai fejlettségi stádiumában. Módszertani szempontból javasolható a növekedésanalízis klasszikus és függvényillesztésen alapuló módszerének egyidejű alkalmazása.

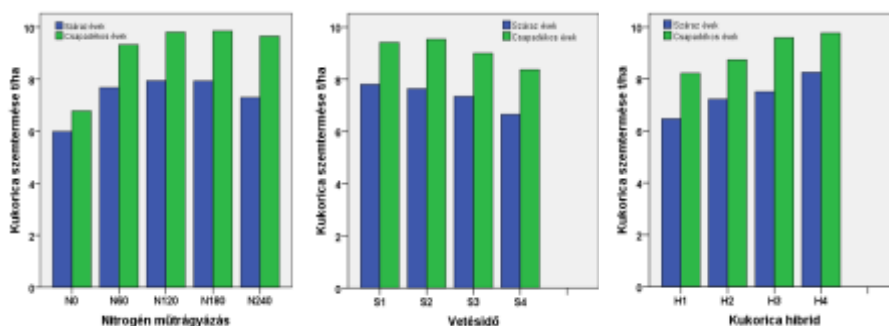
Az N-műtrágya reakció (terméshatás) görbe fő hátránya, hogy nem mutatja ki a reakció időbeni változását, amely feltétlenül bekövetkezik a vetés és a betakarítás között szántóföldön. A szárazanyag-akkumuláció és a levélterület-növekedés időbeni folyamatának tanulmányozása hozzájárulhat a kukorica hibridek N-műtrágya hasznosításának javításához. A nitrogén stressz, mint az N-hiány intenzitásának kvantitatív becslése a növényben, értékelhető a növekedési ráta csökkenéséből, összehasonlítva a maximális növekedési rátával a növény nem limitált N-ellátottságakor (Berzsényi, 2009a; Berzsényi 2009b).

Az N-műtrágya és a vetésidő hatása a kukorica hibridek termésére és ökofiziológiai paramétereire tartamkísérletben (Berzsényi és Dang, 2006d; Berzsényi és Dang, 2008a)

A vetésidő, az N-műtrágyázás és a genotípus hatását a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben tanulmányoztuk 1961 és 2006 közötti időszakban. A legnagyobb termést a korai és az optimális vetésidőben kaptuk (8.712 és 8.706 t ha^{-1}). Az optimális vetésidőhöz viszonyítva a tíz vagy húsz napos késés 5, illetve 12.5%-os terméscsökkenést okozott. A késői és igen késői vetésidőben kedvezőtlen évjáratokban a termés csupán 60 kg ha^{-1} N-dózisig nőtt. Ugyanakkor a korai és optimális vetésidőben kedvező évjáratokban a termésnövekedés 120 kg ha^{-1} N-dózisig volt szignifikáns. A termésstabilitás legkisebb volt a korai és az igen késői vetésidőben, az N-műtrágyázás nélküli kontrollban és a magas N-dózisnál, valamint a korai és késői kukorica genotípusokban. Az N-műtrágyázás, a vetésidő és a genotípus hatását a kukorica szemtermésére száraz és csapadékos évjáratokban a 7. ábra szemlélteti.

A vetésidő és az N-műtrágyázás hatását jól visszatükrözte a fotoszintézis hatékonysága virágzáskor (1. táblázat). A fotoszintézis rátája legnagyobb volt az optimális vetésidőben, sorrendben a 10 nappal korábbi vagy későbbi vetésidő következett, míg legkisebb az igen késői vetésidőben volt. Az N-műtrágyázás nélküli kontroll kezeléssel összehasonlítva, az N-műtrágyázás 120 kg ha^{-1} N-dózisig szignifikánsan növelte a nettó fotoszintézis rátáját. A SPAD-502 klorofill mérővel kapott adatok

pontosan jellemezték a kukoricánövény N-ellátottságát a tenyészidőszakban (Berzsenyi és Dang, 2008).



7. ábra. A N-műtrágyázás, vetésidő és hibrid hatása a kukorica szemtermésére száraz és csapadékos évjáratokban

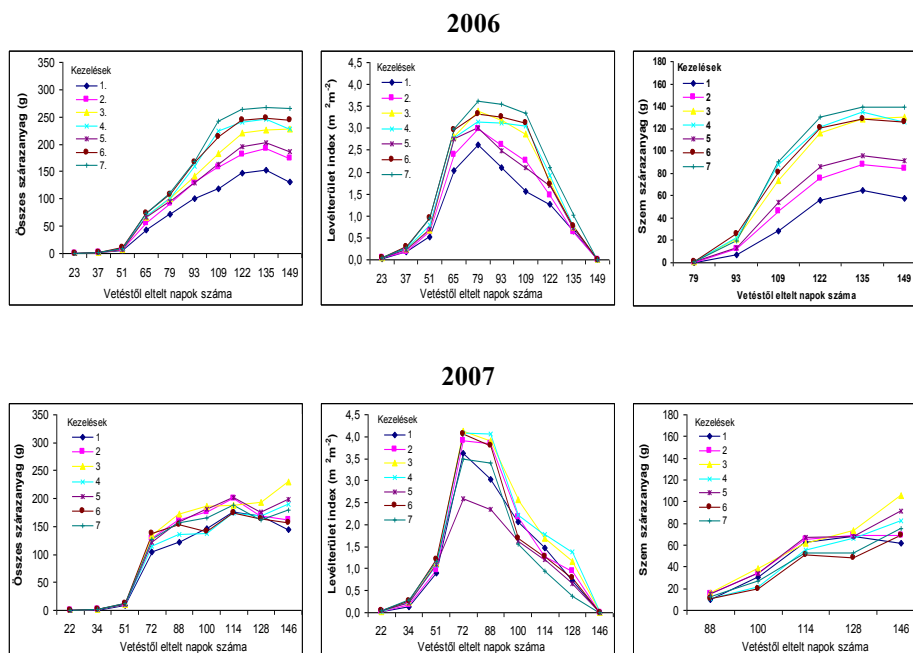
1. táblázat. A N-műtrágyázás, a vetésidő és a hibrid hatása a kukoricánövények néhány agronómiai és fiziológiai tulajdonságára

Kezelések	Nővirágzás ideje (napok száma a vetéstől)	Fotoszintézis rátája ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	Klorofill-tartalom (SPAD értékek)	Szemtermés nedvességtartalma (%)	Szemszám db m^{-2}	Ezerszem-tömeg (g)
<i>N műtrágyázás (N)</i>						
N ₀	76.7	20.68	44.8	20.01	1825	293.2
N ₆₀	75.3	24.71	52.4	19.73	2561	309.6
N ₁₂₀	75.1	25.43	56.3	19.84	2719	320.5
N ₁₈₀	75.3	25.40	57.8	19.72	2707	321.4
N ₂₄₀	75.5	25.16	58.0	19.69	2711	321.5
SzD (0.05)	0.27	0.64	1.40	0.18	149	7.2
<i>Vetésidő (S)</i>						
Korai (S ₁)	82.9	24.75	50.9	17.93	2402	314.9
Optimális (S ₂)	76.5	25.83	53.1	18.46	2407	322.6
Késői (S ₃)	73.1	24.37	55.4	20.09	2430	309.4
Nagyon késői (S ₄)	69.8	22.15	56.0	22.70	2354	306.1
SzD (0.05)	0.47	0.50	0.70	0.16	60	4.0
<i>Kukorica hibrid (H)</i>						
H ₁	73.0	24.80	55.8	18.41	2459	291.7
H ₂	74.9	-	52.3	19.80	2237	322.2
H ₃	76.2	24.83	53.0	20.66	2433	309.7
H ₄	78.1	23.19	53.4	20.32	2465	329.3
SzD (0.05)	0.14	0.44	0.44	0.16	44	3.3
<i>F-próba eredménye</i>						
N	***	***	***	**	***	***
S	***	***	***	***	NS	***
H	***	***	***	***	***	***
N × S	NS	*	**	***	NS	NS
N × H	NS	*	NS	**	NS	***
S × H	***	***	*	***	**	**
N × S × H	NS	NS	NS	NS	NS	NS

Nővirágzás ideje és a szemtermés nedvességtartalma az 1991-2006 évekre; a fotoszintézis rátája, a SPAD értékek és a terméskomponensek 2001-2006 évekre vonatkoznak. NS = nem szignifikáns, * szignifikáns $P \leq 0.05$, ** szignifikáns $P \leq 0.01$, *** szignifikáns $P \leq 0.001$ szinten.

AZ ISTÁLLÓTRÁGYA ÉS A MŰTRÁGYA HATÁSA A KUKORICANÖVÉNY NÖVEKEDÉSÉRE (Micskei et al., 2008a; Micskei et al., 2008b)

Az 1958-ban beállított kukorica monokultúra tartamkísérletben végzett növekedésanalízis vizsgálatok eredményei alapján megállapítottuk, hogy a különböző szintű istálló-, és műtrágya kezelések szignifikánsan befolyásolták a kukoricanövény szárazanyag termelését és a levélterület indexnek a szezonális dinamikáját (8. ábra). A varianciaanalízis eredményei kimutatta, hogy minden évben szignifikáns különbség volt a kezelések között az összes szárazanyag termelés, valamint a levélterület index értékekben. Az évjárathatás elemzése elsősorban a csapadékhiány jelentős termésmérséklő hatására mutatott rá (2,91 t ha⁻¹ termés-csökkenés 2007-ben a 2006. évhez viszonyítva). Kedvezőtlen évjárathatás esetén a kísérleti kezelések hatása kevésbé vagy egyáltalán nem volt mérhető a termésadatokban, ugyanakkor jól jellemezhető az évjárathatás a szárazanyag termelés és a levélterület index eltérő dinamikájával (Micskei et al., 2008a; Micskei et al., 2008b). Az OTKA kutatás keretében **Micskei Györgyi levelező PhD hallgató** e témakörben végzi kutatásait.



8. ábra. Az istállótrágya és a műtrágya hatása az összes szárazanyag termelés, a levélterület index (LAI) és a szemtermés időbeni növekedésének dinamikájára két eltérő évjárathatásban

Műtrágyázás × növényszám interakció hatása a kukorica hibridek termelésére

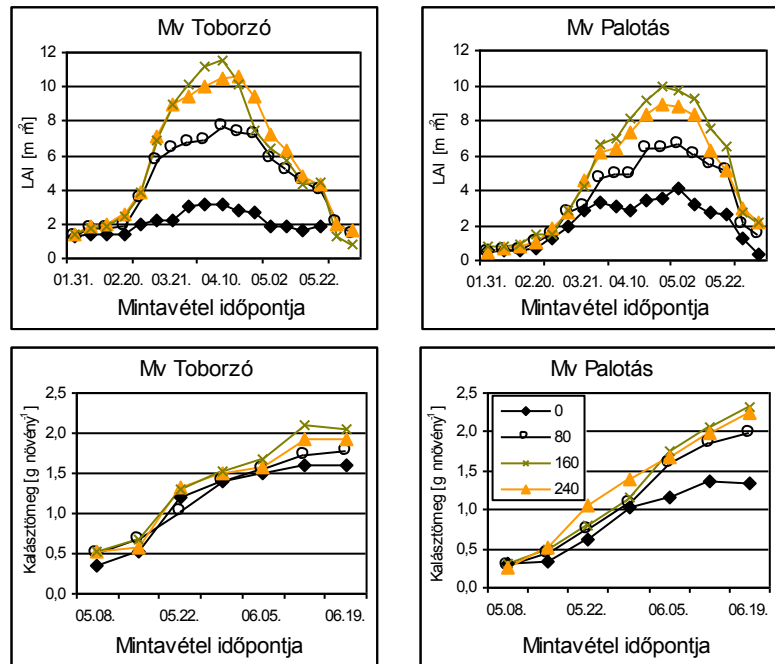
A műtrágyázás × növényszám kölcsönhatását 1960-ban beállított háromtényezős tartamkísérletben vizsgáltuk. A kísérleti kezelések hatását a kukorica szemtermésére és termésstabilitására már feltártuk (Berzsenyi és Lap, 2005). A növekedésanalízis adatok feldolgozása és az eredmények előkészítése publikálásra folyamatban van. A tartamkísérletben végzett növekedésanalízis vizsgálatokról és ökofiziológiai mérésekről már közöltünk adatokat (Berzsenyi et al., 2009).

Az OTKA kutatáshoz kapcsolódó további PhD kutatások

N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták növekedésére és termelésére

Az OTKA kutatáshoz kapcsolódóan **Sugár Eszter levelező PhD hallgató** a N-műtrágyázás hatása az őszi búzafajták növekedésére és termelésére témakörben végez növekedésanalízis vizsgálatokat.

A 9. ábra szemlélteti az N-műtrágyázás hatását az Mv Toborzó és Mv Palotás őszi búzafajták levélterületének és kalásztömegének szezonális dinamikájára. Legkisebb volt a LAI értéke az N₀ kezelésben és szignifikánsan nőtt az N-kezelések hatására. A LAI maximális értéke 11.5 volt az Mv Toborzó és 9.9 az Palotás fajtáknál. Az N-műtrágyázásnak szignifikáns hatása volt a kalásztömeg dinamikájára is, azonban az N-kezelések közötti különbség kisebb volt. Az Mv Toborzó és Mv Palotás fajták szemtermése legkisebb volt az N₀ kezelésben (4.7, illetve 4.9 t ha⁻¹) és szignifikánsan legnagyobb az N₁₆₀ kezelésben (6.4, illetve 6.8 t ha⁻¹) volt (Sugár et al., 2008).



9.ábra. A N-műtrágyázás hatása az Mv Palotás és Mv Toborzó őszi búza fajták levélterület indexének (LAI) és kalásztömegének dinamikájára 2007 évben

A vetésidő hatása borsó fajták növekedésére és produkciójára

Ugyancsak az OTKA kutatási témához kapcsolódóan 2007-2009. években „A vetésidő hatása borsó fajták növekedésére és produkciójára” témakörben **Papp Virág**, a Nyugat-Magyarországi Egyetem Mosonmagyaróvári Mezőgazdaságtudományi Karának *ösztöndíjas PhD hallgatója* végez kutatásokat vezetésem mellett.

RÉSZVÉTEL HAZAI ÉS NEMZETKÖZI TUDOMÁNYOS KONFERENCIÁKON AZ OTKA TÁMOGATÁSÁVAL

- (1) 2006 és 2009 között minden évben egy-egy PhD hallgató részt vett az ALPS-ADRIA SCIENTIFIC WORKSHOP-on, előadással vagy poszterrel. Évente 1-3 tudományos dolgozatunk jelent meg a Cereal Research Communications folyóiratban vagy a Suppl.-ben.
- (2) 2006. és 2008. években részt vettünk az European Society for Agronomy (ESA) szervezésében két évente megrendezett nemzetközi konferencián, Warsawa-ban, illetve Bologna-ban. 2008-ban Micskei Györgyi PhD hallgató előadást tartott a konferencián. A benyújtott dolgozatok nemzetközi folyóiratban, illetve folyóirat Suppl.-ben jelentek meg.
- (3) Az MTA IV. Növénytermesztési Tudományos Napon 2007-ben két előadást tartottunk az OTKA kutatás témakörében. Az előadások teljes terjedelemben megjelentek az Acta Agronomica Óváriensis folyóiratban.
- (4) 2008-ban előadást tartottunk az OTKA kutatás témakörében az 50. Georgikon Napokon, a Pannon Agrártudományi Egyetemen.

(5) 2009-ben az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete tudományos konferenciát rendez a „Az 50 éves martonvásári tartamkísérletek a növénytermesztés fejlesztésében” témakörben. A konferencián a növekedésanalízis témakörében 3 előadással veszünk részt.

OTKA KUTATÁS KERETÉBEN VÉGZETT PHD TANULMÁNYOK

(1) Az OTKA támogatásával végezte növekedésanalízis kutatásait 2006-2009. években Micskei Györgyi levelező PhD hallgató. A szabadföldi kísérleti kutató munkát befejezte. A disszertáció munkahelyi vitájának várható időpontja: 2010. I. félév.

(2) Az OTKA támogatásával végezte növekedésanalízis kutatásait 2007-2009. években Sugár Eszter levelező PhD hallgató. A szabadföldi kísérleti kutató munkát befejezte. A disszertáció munkahelyi vitájának várható időpontja: 2010. I. félév.

(3) Takács Nóra levelező PhD hallgató 2007-ben munkahelyet változtatott, kutatásait a növekedésanalízis témakörében nem folytatta.

(4) Horváth Ildikó PhD hallgató 2008.-tól dolgozik a Növénytermesztés Osztályon. Az OTKA kutatás keretében az ökofiziológiai méréseket végzi a szabadföldi kísérletekben. A disszertáció munkahelyi vitájának várható időpontja: 2010. I. negyedév.

OKTATÁSI TEVÉKENYSÉG

„Növekedésanalízis és produkcióvizsgálatok” és „Növekedésanalízis és növekedési modellek” választható PhD tantárgyak a Pannon Agrártudományi Egyetemen, illetve a Szent István Egyetem Növénytudományok doktori iskolában. Évente 3-5 hallgató választja a tantárgyat. Két évente PhD kurzust tartok a növekedésanalízis, termésképzés témakörben PhD hallgatóknak.

ZÁRÓ GONDOLATOK

(1) A növénytermesztési kutatásban a kísérleti kezelések termésre (terméskomponensekre) gyakorolt hatásának vizsgálata varianciaanalízissel, regresszióanalízissel és többváltozós módszerekkel képezi az első lépést a kísérleti eredmények értékelésében.

A növekedésanalízist és ökofiziológiai méréseket is magukba foglaló növénytermesztési kísérletek a kutatás magasabb szintjét és új agrotechnikai irányzatot jelentenek. Ezek a szabadföldi mérések pontos és gyors válaszokat adnak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról és a termésképzéssel való kapcsolatukról. Lehetővé teszik a növénytermesztési kísérletek eredményeinek többparaméteres értékelését. Széleskörű alkalmazásuk elősegíti a felzárkózást a nemzetközi kutatáshoz és oktatáshoz.

(2) A növekedésanalízis és az ökofiziológiai mérések különösen alkalmasak a genotípusok eltérő agronómiai és környezeti reakcióinak, a genotípusok közötti különbségek okainak vizsgálatára. Elősegítik az agronómiai reakciók pontos jellemzését, a reakcióhatások és -típusok többváltozós elkülönítését.

(3) A kutatások eredményeit felhasználtuk az egyetemi oktatásban és különösen a tudományos továbbképzésben (PhD kurzusok tartása). A kutatási projekt keretében három PhD hallgató fejezte be PhD kutatásait. A kutatás eredményeiről több, mint 20 hazai és nemzetközi tudományos publikációban számoltunk be. A kutatás eredményeit magában foglaló „Növekedésanalízis és termésképzés” c. tudományos könyv megírásán dolgozom.

Ezúton szeretném megköszönni az OTKA vezetőinek és szakkollégiumának, hogy növekedésanalízis kutatásainkat - pályázataink elfogadásával - kezdettől támogatták.

Dr. Berzsenyi Zoltán
témavezető

Martonvásár, 2009. augusztus 19.

BIBLIOGRÁFIA

- Berzsényi, Z.: 1996. Az N-műtrágyázás hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) növekedésére Hunt-Parsons modellel. *Növénytermelés*, 45: 35-52.
- Berzsényi, Z.: 2000. Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Egyetemi jegyzet PhD. hallgatóknak. Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
- Berzsényi, Z.: 2003. Crop production research in multifunctional agriculture. *Acta Agronomica Hungarica*, 51(1): 91-99.
- Berzsényi, Z.: 2005. Növekedésanalízis és termésképzés. In: Antal J. (szerk): Növénytermesztés I. A növénytermesztés alapjai. Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 95-112.
- Berzsényi, Z.: 2008. N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek levélterületének és növénymagasságának növekedési dinamikájára tartamkísérletben. *Növénytermelés*, 57: 195-210.
- Berzsényi, Z.: 2009a. Új kihívások és módszerek a növénytermesztési kutatásban. *Növénytermelés*, 58: 77-91.
- Berzsényi, Z.: 2009b. A nitrogén műtrágyázás hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek növekedésére Richards függvényvel. *Növénytermelés*, 58: 5-21.
- Berzsényi, Z.: 2009c. Studies on the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids I. Dynamics of dry matter accumulation in whole plants and plant organs. *Acta Agronomica Hungarica*, 57 (2): 97-110.
- Berzsényi, Z.: 2009d. Studies on the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids II. Plant growth analysis and growth parameters. *Acta Agronomica Hungarica*, 57 (3): Megjelenés alatt.
- Berzsényi, Z., Lap, D. Q.: 2005. Műtrágyázás × növényszám interakció hatása a kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és termésstabilitására tartamkísérletben. *Növénytermelés*, 54: 35-51.
- Berzsényi, Z., Lap, D. Q.: 2006a. A növényszám hatásának vizsgálata a kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek növekedésére a növekedésanalízis klasszikus módszerével. *Növénytermelés*, 55: 71-85.
- Berzsényi, Z., Lap, D. Q.: 2006b. A növényszám hatásának vizsgálata a kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek növekedésére Richards függvényvel. *Növénytermelés*, 55: 87-102
- Berzsényi, Z., Lap, D. Q.: 2006c. A növényszám hatásának vizsgálata különböző tenyészidejű kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek vegetatív és reprodukív szerveinek növekedésére Richards függvényvel. *Növénytermelés*, 55: 255-275.
- Berzsényi, Z., Dang, Q.L.: 2006d. Effect of sowing date and N fertilisation on grain yield and photosynthetic rates in maize (*Zea mays* L.) *Cereal Res. Commun.*, 34: 409-416.
- Berzsényi, Z., Dang, Q.L.: 2007. Study of the effect of plant density on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids using the Richards function. *Acta Agron. Hung.*, 55: 417-436.
- Berzsényi, Z., Lap, D. Q., Micskei, Gy., Sugár, E., Takács, N.: 2007. Kukorica (*Zea mays* L.) hibridek N-műtrágyareakciójának jellemzése növekedésanalízissel. *Acta Agronomica Ovariensis*, 49 (2): 193-200.
- Berzsényi, Z., Dang, Q. L.: 2008a. Effect of sowing date and fertilisation on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) hybrids in a long-term experiment. *Acta Agronomica Hungarica*, 56 (3): 247-264.
- Berzsényi, Z., Dang, Q.L.: 2008b. Effect of N-fertilisation on the growth characteristics of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Cereal Res. Commun.*, 36: 211-214.
- Berzsényi, Z., Micskei, Gy., Sugár, E.: 2009. Management of plant-beneficial microbes to balance fertiliser inputs in maize (*Zea mays* L.). *Cereal Res. Commun.*, 37: 305-308. Suppl. 2
- Hay, R.M., Walker, A.J.: 1989. An introduction to the physiology of crop yield. Longman, New York.
- Hunt, R., Parsons, I.T.: 1974. A computer program for deriving growth functions in plant growth analysis. *Journal of Applied Biology* 11: 297-307.

- Hunt, R., Causton, D.R., Shipley, B., Askew, P.: 2002. A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany* 90: 485-488.
- Lambers, H., Cambridge, M.L., Konings, H., Pons, T.L. (Eds.): 1989. Causes and consequences of variation of growth rate and productivity of higher plants. SPB Academic Publishing, The Hague.
- Lambers, H., Poorter, H., Van Vuuren, M.M (Eds.): 1998. Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences. Backhuys Publishers, Leiden.
- Micskei, Gy., Takács, N., Dang, Q. L., Berzsenyi, Z.: 2008. Comparative studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth parameters of maize in different years. *Cereal Res. Commun.*, 36: 227-230.
- Micskei, Gy., Takács, N., Dang, Q.L., Berzsenyi, Z.: 2008b. Effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth parameters of maize (*Zea mays* L.). *Italian Journal of Agronomy*, 3: 155-156.
- Nath, S.R., Moore III. F.D.: 1992. Growth analysis by the first, second and third derivatives of the Richards function. *Growth, Development and Aging*, 56: 237-247.
- Petr, J., Cerny, V., Hruska, L.: 1985. A főbb szántóföldi növények termésképződése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Smith, D.L., Hamel, Ch. (Eds): 1999. Crop yield –Physiology and processes. Springer Verlag, Berlin – Heidelberg.
- Sugar, E., Berzsenyi, Z., Dang, Q.L.:2008. Effect of N-fertilisation on the growth dynamics of winter wheat varieties. *Cereal Res. Commun.*, 36: 219-222.
- Westgate, M., Boote, K. (Eds.): 2000. Physiology and modeling kernel set in maize. CSSA Special Publication. No. 29. Wisconsin, USA.