

A nitrogén műtrágyázás hatásának vizsgálata a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek növekedésére Richards-függvénnyel

BERZSENYI ZOLTÁN

MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár

Összefoglalás

A szárazanyag-akkumuláció időbeni folyamatának tanulmányozása hozzájárulhat a kukorica hibridek N-műtrágya hasznosításának javításához. 2001. és 2002. években, 40 éves kukorica monokultúra tartamkísérletben, mint stressz-környezetben vizsgáltuk négy N-műtrágya kezelés (0, 80, 160, 240 kg/ha) hatását három eltérő tenyésztidejű kukorica hibrid [*Mv TC 272* (FAO 280), *Mv 355 SC* (FAO 390) és *Maraton SC* (FAO 450)] növekedésére és produktivitására. A kísérletet Martonvásáron, erdőmaradványos csernozjom talajon, osztott parcellás elrendezésben, négy ismétlésben állítottuk be. A növekedésanalízishez 14 naponként, évente 8 alkalommal vettünk növénymintát.

A Richards-függvény illesztésével jellemeztük a N-műtrágyázás, a kukorica hibrid és az évjárat hatását a kukoricanövény és a különböző növényi szervek (levél, szár, szemtermés) szárazanyag-akkumulációjának, illetve növekedési sebességének (AGR) és növekedési gyorsulásának (AAR) dinamikájára. Az N_0 kezelésben jelentősen csökkent a szárazanyag-akkumuláció, illetve a növekedési sebesség és görbéje jól elkülönült a többi kezeléstől. N-műtrágyázás hatására a szárazanyag-akkumuláció és a növekedési sebesség N_{160} kezelésig nőtt. A Richards-függvény aszimptotikus maximumával (A), az AGR és AAR növekedési mutatókkal, valamint a jellegzetes növekedési időpontoknak (AAR_{max} , inflexiós pont, AAR_{min}) és a növekedés fő periódusának meghatározásával kvantitatív módon tudtuk jellemezni az N-műtrágyázás és a genotípus hatását eltérő évjáratokban.

Kulcsszavak: kukorica, N-műtrágyareakció, Richards-függvény, szárazanyag-akkumuláció, növekedésanalízis

Examination of the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids using the Richards function

Z. BERZSENYI

Agricultural Research Institute of the Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár

Summary

Examinations of the process of dry matter accumulation over time could contribute to improvements in the N fertiliser application of maize hybrids. In 2001 and 2002, the effect of four N fertiliser rates (0, 80, 160, 240 kg ha⁻¹) on the growth and productivity of three maize hybrids with different vegetation periods [*Mv TC 272* (FAO 280), *Mv 355 SC* (FAO 390) és *Maraton SC* (FAO 450)] were studied in a 40-year-old long-term maize experiment as a stress environment. The experiment was set up in Martonvásár on chernozem soil with forest residues in a split-plot design with four replications. Plant samples for growth analysis were taken at 14-day intervals 8 occasions a year.

By fitting of the Richards function, we characterised the effects of N fertilisation, hybrid and year on the dynamics of dry matter accumulation of the whole plant and of different plant organs (leaf, shoot and grain) as well as on the growth and acceleration rates (AGR, AAR). In the N₀ treatment, the dry matter accumulation and the growth rate decreased significantly and their curves clearly separated from the other treatments. As a result of N fertilisation, the dry matter accumulation and the growth rate increased up to the N₁₆₀ treatment. The effect of N fertilisation and the genotype in different years was quantitatively characterised by the asymptotic maximum of the Richards function (A), the AGR and AAR growth parameters, the identification of specific growth points in time (AAR_{max}, inflection point, AAR_{min}) and by the determination of the main period of growth.

Key words: maize, N-fertilisation response, Richards function, dry matter accumulation, growth analysis

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A nitrogén (N) stressz a N-hiány intenzitásának kvantitatív becslése a növényben és értékelhető a növény növekedési rátájának csökkenéséből, összehasonlítva

a maximális növekedési rátával a növény nem limitált N-ellátottságakor, a stressz mérésének időszakában (*Greenwood* 1976). A N-reakciógörbe (termésreakció görbe) fő hátránya, hogy nem mutatja ki a reakció időbeni változását, a reakció ugyanis időben változik, esetleg a reakció előjele is, a vetés és a betakarítás között a szántóföldön. A reakciónak ezek a változásai a tápelem-ellátottságnak és a növény tápelem igényének változásából származnak. *Greenwood* (1976) öt növény paramétert javasolt a N-stressz becslésére: levél N-tartalom, szárazanyag akkumuláció, levél növekedés, levélterület és széndioxid kicserélési ráta (CER).

Az összefüggés az N és a biomassa akkumuláció között számos növényfiziológiai folyamat kölcsönös szabályozásán alapul. E folyamatok között az N-felvételnek, a C asszimilációnak és ezáltal a növekedési sebességnek, valamint a C és N allokációnak a szervek és növények között van jelentősége. *Gastal és Lemaire* (2002) rámutatott arra, hogy a szántóföldön termesztett növények N-felvételét nemcsak a felvehetőség a talajból szabályozza, hanem a növény növekedési rátája is. Ez a megállapítás azért is fontos, mivel a növények N-felvételét gyakran tekintették vagy a talaj N-ellátottságától, vagy a növény növekedésétől (N-szükséglet) függőnek, és ritkán vették figyelembe egyidejűleg mindkettőt.

Azoknak a fiziológiai, biokémiai vagy morfológiai jellemzőknek az identifikálása, amelyek felelősek a növényi növekedés vagy a termés örökletes vagy környezet által indukált varianciájáért, részletes növekedésanalízist indokolnak (*Lambers et al.* 1998). A növekedésanalízis és a növekedési mutatók használata új lendületet kapott a kukorica fiziológiai kutatásokban és a szimulációs termésmodellekben (*Ritchie és Alagarswamy* 2003, *Westgate és Boote* 2000, *Westgate et al.* 2004). *Otegui és Andrade* (2000) új összefüggést tárt fel a fényfelfogás, a cső növekedése és a szemkötődés között kukoricában. Kimutatták, hogy a növény vagy a növényállomány növekedési rátája (AGR, illetve CGR) a virágzás előtti három hetes és a virágzás utáni két hetes időszakban a legmegfelelőbb változó a szemkötődés és a cső plaszticitás tanulmányozására. Küszöbértékeket határoztak meg a cső elhalásra, a többcsövűsögre (prolificacy) és a cső morfogenezis limitekre.

A növekedésanalízis ún. funkcionális módszerében matematikai függvényeket illesztünk a mérési adatokhoz és a kapott növekedési függvényekből differenciálszámítással határozzuk meg a különböző növekedési mutatók pillanatnyi értékeit (*Hunt* 1982). Nagyfokú változatosság jellemzi a módszert a

matematikai függvények tekintetében. *Causton* és *Venus* (1981) és *Hunt* (1982) számos példát mutatott be a növény növekedésének leírására, felhasználva különböző fokú polinom függvényeket és a három vagy négy paramétert tartalmazó aszimptotikus függvényeket (logisztikus, Gompertz és Richards). A kukoricanövény szárazanyag-akkumulációja tendenciájában követi a jellegzetes szigmoid alakú görbét (*Bair* 1942). A növekedésanalízisbe *Causton* és *Venus* (1981) vezette be a Richards-függvényt. Vizsgálataikban a Richards-függvény biológiai szempontból érzékenyebb trendeket adott, mint az exponenciális polinomok, annak tulajdoníthatóan, hogy a függvény biológiailag valós modellen alapul. Kutatásainkban (*pl. Berzsenyi és Lap* 2000) a kukoricahibridek növekedését megbízhatóan tudtuk jellemezni aszimptotikus függvényekkel. Először *Causton* (1969) írt számítógépes programot a Richards-függvény illesztésére. *Nath és Moore* (1992) a növekedésanalízist kiterjesztette a Richards-függvény második és harmadik deriváltjának felhasználására, különös tekintettel a növekedés gyorsulásának és lassulásának szétválasztására, valamint a növekedési fázisok időtartamának meghatározására. A hazai szakirodalomban megfelelő kísérleti adatok állnak rendelkezésre a kukorica hibridek N-műtrágyareakciójáról (*pl. Sárvári* 1995, *Berzsenyi és Lap* 2003, *Nagy* 2007).

Kutatásaink alapján a növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a kukoricanövény növekedésének – mint biomassza produkciónak – és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktoroknak komparatív vizsgálatára (*Berzsenyi és Lap* 2007, *Berzsenyi* 2008). A kutatás célja volt, hogy (1) a Richards-függvény illesztésével jellemezzük a N-műtrágyázás hatását a kukoricanövény és a különböző növényi szervek (levél, szár, cső és szemtermés) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára, és (2) feltárjuk, hogy a Richards-függvény alapján számított növekedési mutatók, illetve kritikus növekedési időpontok mennyiben járulnak hozzá a N-műtrágyázás hatásának és a kukorica hibridek közötti különbségek jellemzéséhez.

Anyag és módszer

Kísérleti kezelések

Az N-műtrágyázás hatását a kukorica növekedésére és növekedési jellemzőire Győrffy Béla és munkatársai által 1961-ben beállított kisparscellás tartamkísérletben tanulmányoztuk, az intézet kísérleti területén, erdőmaradványos csernozjom talajon. A N-műtrágyakezelések a következők voltak: 0, 80, 160 és 240

kg/ha (továbbiakban jelölésük: N_0 , N_{80} , N_{160} és N_{240}). A P- és K-műtrágya mennyisége minden kezelésben azonos (160 kg/ha) volt. A négy ismétlésben, split-plot elrendezésben beállított kísérlet főparcellája (mérete 193 m²) a N-kezelés, alparcellája (27 m²) a kukorica hibrid volt.

A vizsgálatokat 2001 és 2002. években három egyszeres keresztezésű, eltérő genotípusú hibriddel végeztük: *Mv 272* (FAO 280), *Mv 355* (FAO 390) és *Maraton* (FAO 450). A vetés Wintersteiger vetőgéppel 70 cm sor- és 20 cm távolságra történt 04. 18. és 04. 24. között. A kísérleti területre a vegetációs időszakban (04–09. hónap) lehullott csapadék mennyisége (mm) a következő volt: 2001: 266, 2002: 326. Jóllehet a csapadék mennyisége 60 mm-rel több volt 2002-ben, a csapadék eloszlása a virágzás időszakában kedvezőtlenebb volt, mint 2001-ben. Június 2. dekádja és július 1. dekádja közötti időszakban 2002-ben 20 mm, 2001-ben 53 mm csapadék hullott. 2002-ben a tenyészidőszak átlagos hőmérséklete magasabb volt, mint 2001-ben (18,4 vs. 17,9 °C), és különösen több volt a hőség-stressznapok (> 30 °C) száma a tenyészidőszakban (43 vs. 34), illetve június-július hónapokban (29 vs. 15).

Növekedésanalízis

A növekedésanalízishez a növényminták vételét a vetéstől számított 28–35. napon (a kukorica 4-leveles fejlettségénél) kezdtük meg és a fiziológiai érésgig folytattuk, 14 napos intervallumokban. Mindkét évben 8 alkalommal vettünk növénymintákat. A levél területét Delta-T típusú elektronikus planiméterrel határoztuk meg és a szeparált növényi részeket szárítószekrényben 48–96 órán át, 105 °C-on szárítottuk, száraztömegük meghatározása céljából.

Növekedési mutatók

A növényszám hatásának jellemzésére a növekedésanalízis alábbi mutatóit számítottuk ki: abszolút növekedési sebesség (AGR), relatív növekedési sebesség (RGR) és abszolút gyorsulási sebesség (AAR). Az abszolút növekedési sebesség (AGR) a növény növekedésének legegyszerűbb mutatója, a méretbeli növekedés rátája, a méret növekedése időegység alatt. A relatív növekedési sebesség (RGR) a szárazanyag-produkció efficencia indexe. A növény tömegének növekedése a növény egységnyi tömegére és az időegységre vetítve, azaz az abszolút növekedési ráta osztva a növény kiindulási tömegével. A növekedési függvények második differenciál-hányadosával meghatározható növekedési mutatókat *Hunt* (1982) vezette be a növekedésanalízisbe. Közülük az abszolút

gyorsulási sebesség (AAR) a növényi tömeg (W) változás rátájának a meredeksége.

Richards függvény és tulajdonságai

A növekedésanalízis ún. funkcionális módszerében a Richards-függvényt illesztettük a mintavételi adatokhoz. A Richards-függvény négy paramétert tartalmaz, nagyon flexibilis, horizontális aszimptótával rendelkezik és grafikonja jellegzetes, szigmoid alakú. A Richards-függvény az alábbi formában írható fel:

$$W = A(1 \pm \exp^{(b - kt)})^{-1/n}$$

ahol W = növekedés nagysága (szárazanyag produkció), t = idő, A = aszimptotikus maximum, n, b, k = konstans koeficiensek.

A fenti képletben a negatív előjelet akkor használjuk, ha „n” negatív és fordítva. Az „n” paraméter írja le a görbe alakját, a „b” konstansnak nincs biológiai jelentősége, a görbe helyzetére vonatkozik az idő viszonylatában. A „k” a ráta konstans, értelmezése azonban függ az „n” értékétől. *Richards* (1959) és *Causton és Venus* (1981) alapján a paraméterek három különböző kombinációjának tulajdoníthatunk biológiai jelentőséget: $k/(n+1)$, az átlagos relatív növekedési ráta a növekedés teljes időszakában; $Ak/[2(n+2)]$, az átlagos abszolút növekedési ráta és $[2(n+2)]/k$, a növekedés fő időszaka.

A kísérleti adatok biometria értékelése

A kísérleti adatokat IBM kompatibilis számítógépen SPSS 17.0 for Windows statisztikai programcsomaggal dolgoztuk fel. A kukoricanövény növekedését a Richards-függvény illesztésével, valamint első, második és harmadik deriváltjának meghatározásával tanulmányoztuk. Kutatásainkban *Nath és Moore* (1992) által kifejlesztett növekedésanalízis programot használtuk. A program az ismétléses kísérlethez származó mintavételi adatokhoz illeszti a Richards-függvényt. A Richards-függvény illeszkedését az R^2 determinációs koeficienssel, az F-próbával és a χ^2 -próbával (*Causton és Venus* 1981, *Ross* 1981) jellemeztük. Növényenként, illetve növényi részenként 24, összesen 120 adatsorozathoz illesztettük a Richards-függvényt és értékeltük részletesen a kapott eredményeket. Az illeszkedés minden esetben megfelelő volt.

Eredmények

N-műtrágyázás hatása a kukoricanövény és a növényi szervek szárazanyag-akkumulációjának dinamikájára

A kukoricanövény és a szemtermés időbeni növekedéséhez illesztett Richards-függvény alapján meghatározott szárazanyag-felhalmozódás és növekedési sebesség (AGR) szezonális dinamikáját, az N-műtrágyázástól és az évjárártól függően az Mv 355 kukorica hibridre az *1. ábra* szemlélteti. A felső ábramezőben látható, hogy az N-műtrágyázás jelentős hatással volt a szárazanyag-felhalmozódás dinamikájára, másrészt jelentősen növelte a szárazanyag-produkciót. A növekedés dinamikájában jól felismerhető a kezdeti exponenciális és az ezt követő hosszabb időtartamú lineáris szakasz. Látható, hogy az N-műtrágyázás a növekedés kezdetétől befolyásolta a szárazanyag-produkciót, hatása fokozódott a növekedés későbbi időszakában, különösen a reprodukzív és a szemtelítődési szakaszban. Az N_0 kezelésben jelentősen csökkent a szárazanyag-produkció és az N_0 kezelés görbéje jól elkülönül a többi kezeléstől. Megállapítható, hogy a kedvezőtlenebb időjárású 2002. évben a szárazanyag-felhalmozódás görbéjének meredeksége kisebb, mint 2001. évben.

A mintavételi adatokhoz illesztett Richards-függvény első differenciálhányadosa alapján számítottuk ki az abszolút növekedési sebességet (AGR). Az abszolút növekedési sebességet időbeni dinamikával, átlagos és maximális értékekkel jellemeztük. Az *1. ábra* alsó ábramezője a kukoricanövény és a szemtermés abszolút növekedési sebességének időbeni dinamikáját mutatja az N-műtrágyázástól függően, a vizsgált években. Az AGR szezonális dinamikáját harang alakú, ún. Gauss görbe írja le, vagyis az AGR értéke fokozatosan nő egy maximális értékig, és ezt követően fokozatosan csökken. Látható, hogy jelentős különbségek voltak az AGR maximális értékében és az N-műtrágyázás jelentősen növelte az AGR maximális értékét. A kukoricanövény AGR görbéje időben és dinamikájában jelentősen eltér a szemtermés AGR görbéjétől.

A szárazanyag-beépülés mértékét a kukoricanövénybe és a különböző növényi szervekbe a Richards-függvény által meghatározott jellegzetes növekedési időpontokban az *1. táblázat* tartalmazza. Látható, hogy az N-műtrágyázás jelentősen növelte a szárazanyag-akkumulációt mind a kukoricanövényben és mind a különböző növényi szervekben.

1. ábra. A N-műtrágyázás hatása a kukoricanövény (TDM) és a szemtermés (GDM) szárazanyag felhalmozódásának és növekedési sebességének (AGR) szezonális dinamikájára 2001. és 2002. években.

(az Mv 355 (FAO 390) kukorica hibrid mérési adataihoz
Richards-függvényt illesztettünk)

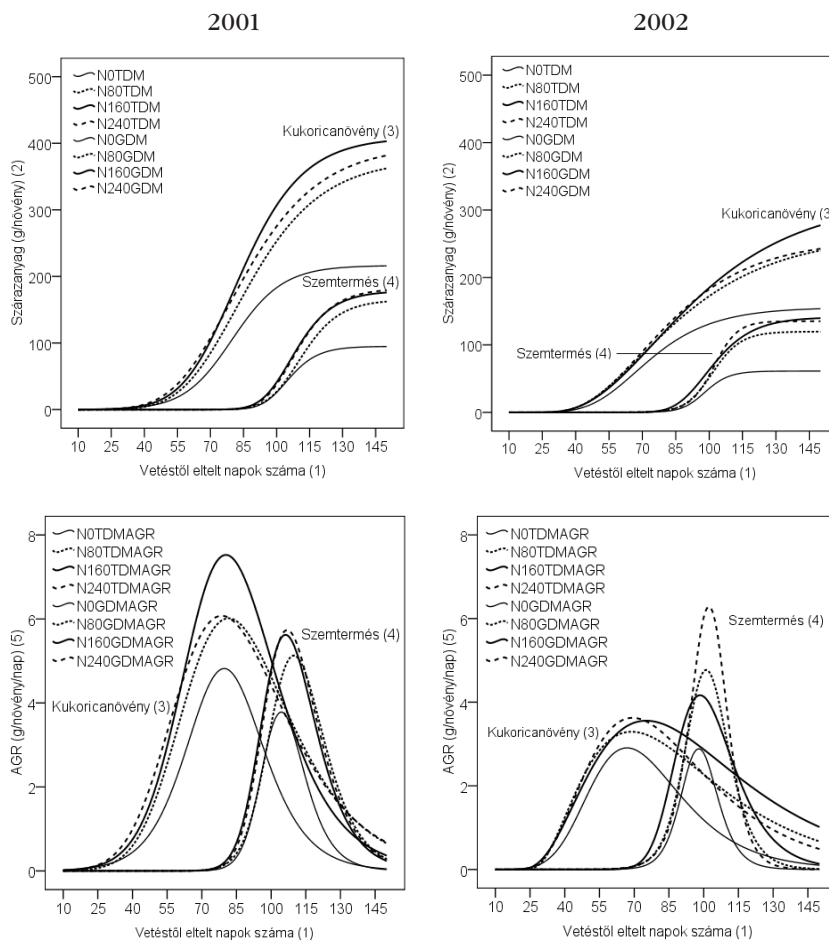


Figure 1. Effect of N fertilisation on the seasonal dynamics of dry matter accumulation and absolute growth rate (AGR) of the whole maize plant (TDM) and grain yield (GDM) in 2001 and 2002, (the Richards function was fitted to sampling date of maize hybrid Mv 355 (FAO 390)). (1) Days from sowing, (2) Dry matter (g/plant), (3) Maize plant, (4) Grain yield, (5) AGR (g/plant/day).

1. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a szárazanyag felhalmozódásra a kukoricanövényben és a különböző növényi szervekben a Richards-függvény által meghatározott jellegzetes növekedési időpontokban a 2001 és 2002. években (3 hibrid átlagában)

Kukoricanövény és növényi szervek (1)	N-műtrágya dózisa [kg/ha] (2)							
	0	80	160	240	0	80	160	240
	2001				2002			
Szárazanyag beépülés AAR _{max} időpontjában [g] (3)								
Levél (4)	6,0	9,8	8,6	8,1	4,9	4,4	5,7	4,5
Szár (5)	17,1	16,1	19,8	17,4	6,1	8,9	10,3	7,5
Cső (6)	26,7	23,6	24,2	21,4	9,5	20,1	17,1	18,7
Szemtermés (7)	11,7	21,6	27,7	22,4	9,0	17,1	15,7	21,7
Kukoricanövény (8)	30,9	31,5	43,6	33,8	14,7	9,2	14,8	10,5
Szárazanyag beépülés az inflexió pont időpontjában [g] (9)								
Levél (4)	11,6	16,1	16,3	15,8	10,9	11,8	13,4	12,4
Szár (5)	28,3	31,3	38,6	34,6	19,1	23,8	26,8	24,2
Cső (6)	42,9	73,2	82,8	80,0	31,2	57,1	58,4	60,6
Szemtermés (7)	38,2	61,4	75,2	71,0	28,4	48,2	51,6	58,1
Kukoricanövény (8)	91,5	121,8	141,4	133,9	61,9	77,2	99,4	86,7
Szárazanyag beépülés az AAR _{min} időpontjában [g] (10)								
Levél (4)	16,8	21,6	24,0	23,4	17,2	19,6	21,0	20,5
Szár (5)	39,6	47,5	55,7	51,8	31,6	40,0	44,4	40,2
Cső (6)	77,0	125,4	143,9	140,4	54,8	95,0	104,8	104,0
Szemtermés (7)	66,3	103,5	124,7	122,6	47,6	82,0	90,6	93,8
Kukoricanövény (8)	151,9	213,0	246,7	239,9	112,3	151,3	190,1	172,7
Aszimptotikus maximum [g] (11)								
Levél (4)	20,2	24,6	28,8	28,5	21,5	25,9	26,9	27,2
Szár (5)	46,0	57,4	55,6	62,9	42,3	52,4	57,4	53,7
Cső (6)	106,4	171,5	197,3	191,5	75,2	129,2	145,7	144,2
Szemtermés (7)	93,3	141,2	167,1	168,4	64,9	110,2	127,2	122,6
Kukoricanövény (8)	203,0	303,3	340,6	327,2	160,6	223,9	258,9	237,2

Table 1. Effect of N fertilisation on the dry matter accumulation in maize plant and different plant organs in the characteristic growth times determined by the Richards function in 2001 and 2002 (average of 3 hybrids). (1) Maize plant and organs, (2) Rate of N fertiliser, (3) Dry matter accumulation in the time of AAR_{max}, (4) Leaves, (5) Stem, (6) Ear, (7) Grain yield, (8) Maize plant, (9) Dry matter accumulation in the time of inflection point, (10) Dry matter accumulation in the time of AAR_{min}, (11) Asymptotic maximum).

A Richards-függvény paraméterei közül, a változások az aszimptotikus maximumban (A) jól jellemzik az N-műtrágyázás és az évjárat hatását az egész növény és a növényi szervek szárazanyag produkciójára (1. táblázat). A növényenkénti

összes szárazanyag-produkció aszimptotikus maximuma (A) jelentősen nőtt az N-műtrágyázás hatására. A hibrdek átlagában a növényenkénti összes szárazanyag-produkcióra a következő értékeket kaptuk N-kezelésenként a vizsgált években (g növény^{-1}): 2001: N_0 : 203,0; N_{80} : 303,3; N_{160} : 340,6; N_{240} : 327,2; 2002: N_0 : 160,6; N_{80} : 223,9; N_{160} : 340,6; N_{240} : 237,2. Megállapítható, hogy a növényenkénti összes szárazanyag-produkció N_{160} kezelésig szignifikánsan nőtt, ennél magasabb N-dózisnál kismértékben csökkent. Az adatokból látható, hogy jelentős volt az évjárat-hatás, a kedvezőtlenebb csapadékeloszlású 2002. évben a növényenkénti szárazanyag-produkció minden N-szinten szignifikánsan kisebb volt, mint 2001. évben (átlagosan 25%-kal). A hibrdek közötti különbségre az jellemző, hogy a korai érésű *Mv 272* hibrid növényenkénti szárazanyag-produkciója volt a legkisebb, az *Mv 355* és *Maraton* közötti különbség az évjáratától függött (adatokat nem közöltük).

A vegetatív szervek (levél, kukoricaszár) maximális tömege („A” paraméter) következetesen nőtt az N-műtrágya dóziséval és a hibrdek tenyészidejének hosszával (1. táblázat). A kukoricalevelek növényenkénti tömege az N-műtrágyázás hatására 2001-ben 20,2 g-ról 28,8 g-ra, 2002-ben 21,5 g-ról 27,2 g-ra nőtt. A kukoricaszár tömege 2001-ben 46,0 g-ról 65,6 g-ra, 2002-ben 42,3 g-ról 57,4 g-ra nőtt. A kukoricacső és a szemtermés tömege következetesen nőtt az N-műtrágya dóziséval mindkét évben, a hibrdek között a különbség a korai érésű (*Mv 272*) és a hosszabb tenyészidejű (*Mv 355* és *Maraton*) csoportok között volt szignifikáns (adatokat nem közöltük). A kukoricacső tömege 2001-ben 106,4 g-ról 197,3 g-ra, 2002-ben 75,2 g-ról 145,7 g-ra nőtt az N-trágyázás hatásaként. A kukorica szemtermése a hibrdek átlagában N-kezelésenként a következő volt a vizsgált években (g növény^{-1}): 2001-ben: N_0 : 93,3; N_{80} : 141,2; N_{160} : 167,1; N_{240} : 168,4; 2002-ben: N_0 : 64,9; N_{80} : 110,2; N_{160} : 127,2; N_{240} : 122,6. Megállapítható, hogy a szemtermés N_{160} kezelésig szignifikánsan nőtt, N_{240} -nél nem változott. Jelentős volt az évjárat hatása, 2002-ben a szemtermés az N-kezelések átlagában csupán 74,6%-a volt a 2001. évinek.

A 2. ábra az N-műtrágyázás hatását szemlélteti a kukoricaszár és a kukoricalevél szárazanyag-felhalmozódásának és növekedési sebességének (AGR) szezonális dinamikájára. Látható, hogy az N-műtrágyázásnak mind a szárazanyag-felhalmozódásra és mind a növekedési sebességre jelentős hatása volt. Az N_0 kezelés görbéje már kezdetben leszakad a többi N-kezelés görbétől. A levél AGR értéke korábban éri el maximumát, mint a kukoricaszáré, másrészt közel 50%-kal kisebb AGR_{\max} értékek jellemzik. Az évjárat hatása a kedvezőtlen

csapadékeloszlású 2002. évben különösen a kukoricaszár kisebb AGR_{max} értékében mutatkozott meg.

2. ábra. A N-műtrágyázás hatása a kukoricaszár (SDM) és a kukoricalevél (LDM) szárazanyag felhalmozódásának és növekedési sebességének (AGR) szezonális dinamikájára 2001. és 2002. években.
(az Mv 355 (FAO 390) kukorica hibrid mérési adataihoz Richards-függvényt illesztettünk)

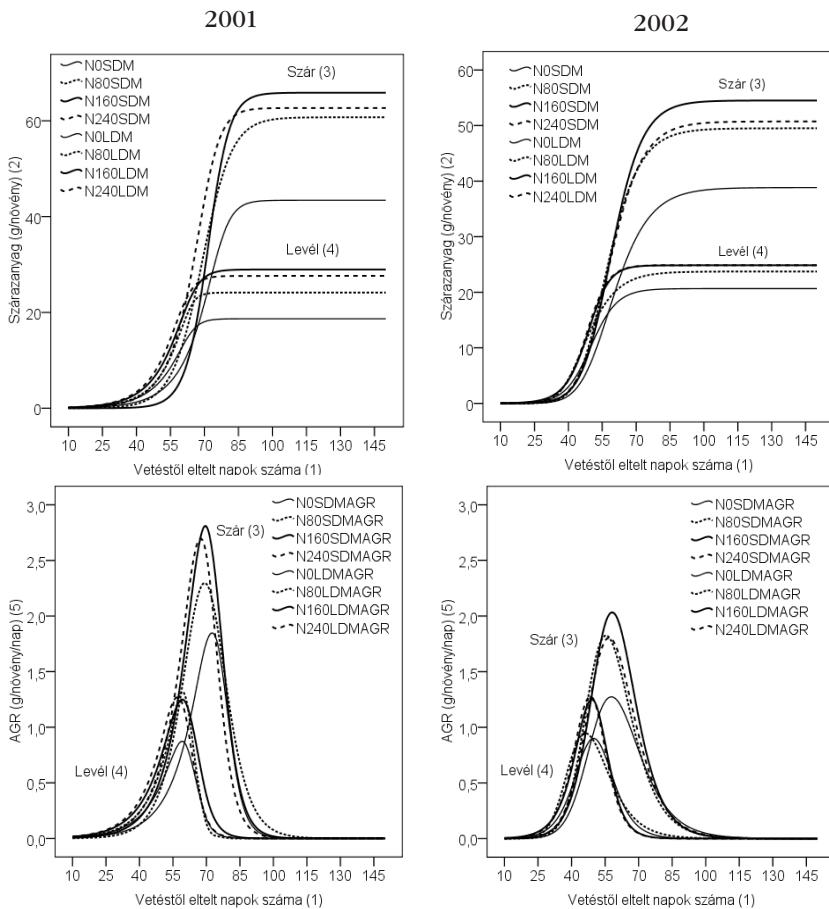


Figure 2. Effect of N fertilisation on the seasonal dynamics of dry matter accumulation and absolute growth rate (AGR) of the maize stem (SDM) and leaf (LDM) in 2001 and 2002, (the Richards function was fitted to sampling date of maize hybrid Mv 355 (FAO 390)). (1) Days from sowing, (2) Dry matter (g/plant), (3) Stem, (4) Leaf, (5) AGR (g/plant/day).

A 3. ábra az N-műtrágyázás hatását mutatja a kukoricanövény, a levél, a szár és a szemtermés abszolút növekedési gyorsulásának (AAR) szezonális dinamikájára a 2001. és 2002. években. A maximális és minimális gyorsulás pontjai (P_1 és P_2) egyenlő távolságra vannak az inflexiós ponttól (P_i). A gyorsulási/lassulási görbe mutatja, hogy ténylegesen mennyire dinamikus a biomassa növekedése. Látható, hogy az N_{160} és N_{240} kezelésekben kaptuk a legnagyobb AAR értékeket.

A növény növekedésének időszakában a három karakterisztikus időpont közül a P_1 pont jelzi a növekedés maximális gyorsulását és a növekedési ráta (AGR) görbe első inflexiós pontját. A P_i pontban a növekedési ráta eléri maximális értékét (AGR_{max}). A P_2 pontban a maximális lassulás megy végbe és ugyanebben az időben van a növekedési ráta görbe második inflexiós pontja.

A 2. táblázat tartalmazza N-műtrágya kezelésként és évenként az abszolút gyorsulási sebesség maximumának (AAR_{max}), minimumának (AAR_{min}) és az inflexiós pontnak az időpontját a vetéstől eltelt napok számában kifejezve, valamint a növekedés fő időszakát napokban. A kukoricalevél és a kukoricaszár növekedésének fő periódusa 32 és 44 nap között, a kukoricacső és a szemtermés növekedésének fő időszaka 35 és 50 nap között változott. A kukoricanövény növekedésének fő időszaka 83 és 114 nap között változott és az N-műtrágyázás hatására nőtt.

N-műtrágyázás hatása a kukoricanövény és a növényi szervek növekedési sebességének és növekedési gyorsulásának mutatóira (AGR, RGR, AAR)

A Richards függvény paraméter kombinációi közül az N-műtrágyázásnak szignifikáns hatása volt az átlagos és maximális növekedési sebességre (AGR) (3. táblázat). A kukoricanövény és a különböző növényi szervek átlagos és maximális AGR értéke következetesen nőtt az N-műtrágyázás hatására 160 kg/t N-dózisig. A hibridek tenyészidejével következetesen nőtt az AGR értéke. A kedvezőbb csapadékeloszlású 2001. évben az AGR értéke nagyobb volt, mint 2002. évben. Az AGR értéke különbözött a kukoricanövény szervei között is. Legkisebb AGR értékek jellemezték a levelek és a szár növekedését. Tipikusan legnagyobb volt a kukoricacső és a szemtermés növekedésének AGR értéke, melytől kismértékben tért csak el az egész növény növekedésének AGR értéke. A hibridek átlagában az N-műtrágyázás hatására a növényenkénti levél szárazanyag növekedésének átlagos AGR értéke ($g\ nap^{-1}$) 2001-ben 0,47-ről

3. ábra. A N-műtrágyázás hatása az Mv 355 (FAO 390) kukorica hibrid és különböző növényi szervek abszolút gyorsulási rátájának (AAR) (g nap^{-2}) dinamikájára 2001. és 2002. években

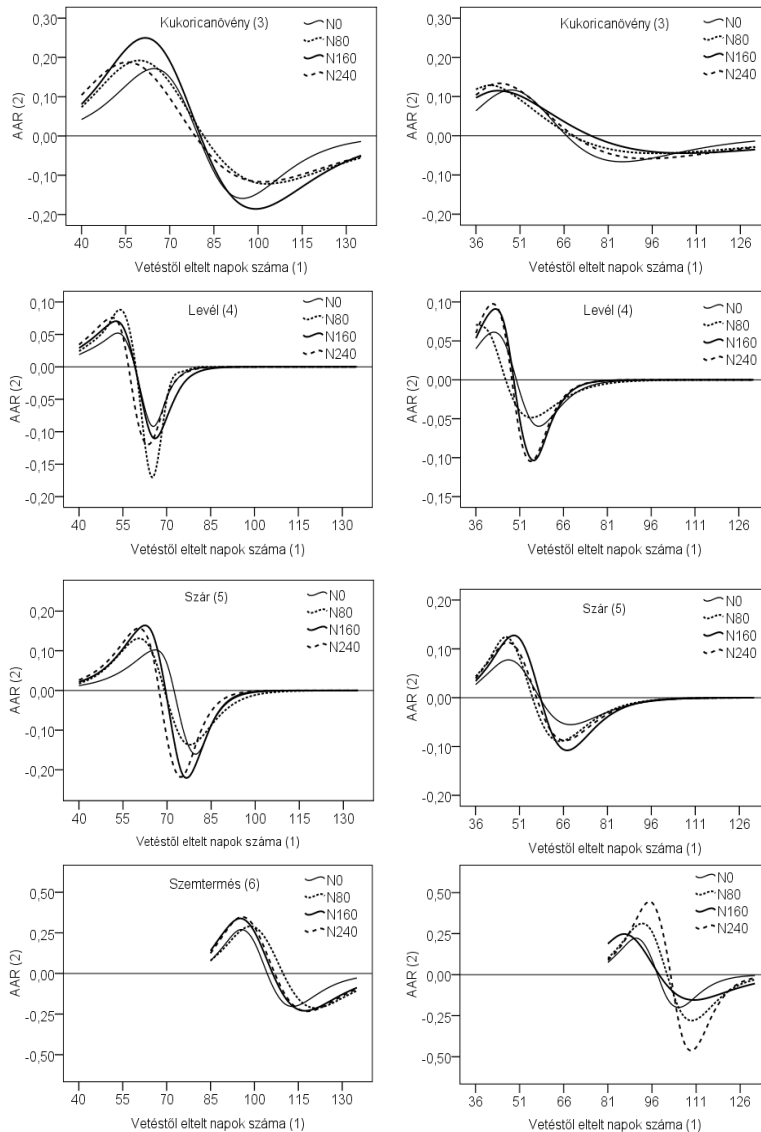


Figure 3. Effect of N fertilisation on the dynamics of absolute acceleration rate (AAR) (g day^{-2}) of the Mv 355 (FAO 390) maize hybrid and different plant organs in 2001 and 2002. (1) Days from sowing, (2) Absolute acceleration rate (AAR), (3) Maize plant, (4) Leaf, (5) Stem, (6) Grain yield.

2. táblázat. A N-műtrágya hatása a kukoricanövény és a különböző növényi szervek szárazanyag akkumulációjához illesztett Richards-függvény jellegzetes növekedési időpontjaira, valamint a növekedés fő periódusaira 2001 és 2002. években (3 hibrid átlagában)

Kukoricanövény és növényi szervek (1)	N-műtrágya dózisa [kg/ha]							
	(2)							
	0	80	160	240	0	80	160	240
	2001				2002			
	AAR _{max} időpontja* (3)							
Levél(4)	50,5	53,6	49,4	47,9	43,5	40,6	41,2	39,6
Szár(5)	66,1	61,9	62,6	59,9	49,7	48,5	50,2	47,3
Cső(6)	95,1	94,1	92,9	91,5	86,7	88,0	84,1	85,8
Szemtermés(7)	95,6	98,1	98,5	96,6	90,2	90,6	87,6	91,2
Kukoricanövény(8)	63,3	59,0	60,8	56,3	49,3	41,9	45,0	42,6
	Inflexiós pont időpontja* (9)							
Levél(4)	58,3	59,1	57,2	56,7	50,9	48,6	49,0	47,3
Szár(5)	73,0	69,2	69,8	67,8	59,9	57,1	58,9	56,7
Cső(6)	102,1	105,0	104,1	103,3	95,7	97,8	94,7	95,7
Szemtermés(7)	105,1	107,4	107,4	106,7	98,5	99,4	97,3	98,6
Kukoricanövény(8)	83,0	82,7	82,3	81,7	69,1	68,3	72,5	69,1
	AAR _{min} időpontja*(10)							
Levél(4)	66,1	64,6	65,1	65,5	58,2	56,6	56,8	55,2
Szár(5)	79,9	76,5	76,9	75,8	70,1	65,7	67,6	66,2
Cső(6)	113,7	115,8	115,2	115,0	104,6	107,5	105,3	105,6
Szemtermés(7)	114,6	116,7	116,3	116,9	106,8	108,3	106,9	106,0
Kukoricanövény(8)	102,7	106,3	103,8	107,1	88,9	94,6	100,0	95,6
	Növekedés fő periódusa (nap) (11)							
Levél(4)	39,7	31,9	39,2	43,4	34,6	35,3	35,4	33,7
Szár(5)	37,0	35,8	36,6	39,4	44,1	37,6	38,7	40,8
Cső(6)	49,6	46,5	47,3	50,2	38,5	42,4	44,8	42,4
Szemtermés(7)	40,3	40,2	44,6	43,3	36,0	38,5	41,0	32,9
Kukoricanövény(8)	85,1	99,2	91,3	103,0	82,8	110,0	114,3	110,1

*A vetéstől eltelt napokban kifejezve. (12)

Table 2. Effect of N fertilisation on the characteristic growth points in time of the Richards function fitted to the dry matter of maize plant and different plant organs, as well as on the grant of growth in 2001 and 2002 (average of 3 hybrids). (1) Maize plant and organs), (2) Rate of N fertiliser, (3) Time of AAR_{max} (4) Leaves, (5) Stem, (6) Ear, (7) Grain yield, (8) Maize plant, (9) Time of inflection point, (10) Time of AAR_{min}, (11) Grant period of growth (days), (12) In terms of days from sowing.

0,66-ra, 2002-ben 0,57-ről 0,78-ra nőtt. A kukoricaszár átlagos AGR értéke (g/nap) 2001-ben 1,11-ről 1,51-re, 2002-ben 0,93-ról 1,45-re nőtt. A kukoricacső átlagos

3. táblázat. A N-műtrágyázás hatása a kukoricanövény és a különböző növényi szervek növekedési sebességére (AGR, RGR) és a növekedési gyorsulására (AAR) a Richards függvény illesztése alapján 2001 és 2002. években (3 hibrid átlagában)

Kukoricanövény és növényi szervek (1)	N-műtrágya dózisa [kg/ha] (2)							
	0	80	160	240	0	80	160	240
	2001				2002			
	AGR _{max} [g növény ⁻¹ nap ⁻¹] (3)							
Levél (4)	0,79	1,25	1,12	1,03	0,94	1,09	1,16	1,20
Szár (5)	2,06	2,49	2,77	2,44	1,42	2,07	2,21	1,95
Cső (6)	3,46	5,39	6,29	5,96	2,90	4,43	4,80	4,93
Szemtermés (7)	3,42	5,10	6,75	5,65	2,66	4,17	4,58	5,52
Kukoricanövény (8)	3,65	4,53	5,58	4,73	2,84	3,20	3,74	3,59
	\overline{AGR} [g növény ⁻¹ nap ⁻¹] (9)							
Levél (4)	0,47	0,71	0,66	0,65	0,57	0,72	0,75	0,78
Szár (5)	1,11	1,51	1,47	1,51	0,93	1,37	1,45	1,30
Cső (6)	2,45	3,31	4,09	4,04	1,61	2,46	2,86	2,71
Szemtermés (7)	1,85	2,90	3,94	3,48	1,51	2,38	2,68	3,32
Kukoricanövény (8)	2,37	3,01	3,66	3,15	1,89	2,41	2,68	2,69
	\overline{RGR} [g g ⁻¹ nap ⁻¹] (10)							
Levél (4)	0,066	0,074	0,066	0,064	0,082	0,092	0,088	0,098
Szár (5)	0,066	0,074	0,064	0,068	0,074	0,086	0,080	0,082
Cső (6)	0,085	0,070	0,074	0,076	0,082	0,070	0,076	0,073
Szemtermés (7)	0,079	0,074	0,081	0,075	0,085	0,078	0,080	0,089
Kukoricanövény (8)	0,039	0,037	0,038	0,035	0,045	0,046	0,041	0,046
	AAR _{max} [g nap ⁻²] (11)							
Levél (4)	0,042	0,079	0,061	0,053	0,062	0,077	0,078	0,092
Szár (5)	0,121	0,151	0,157	0,133	0,084	0,139	0,138	0,126
Cső (6)	0,247	0,315	0,380	0,367	0,208	0,266	0,304	0,317
Szemtermés (7)	0,245	0,331	0,493	0,352	0,200	0,280	0,317	0,407
Kukoricanövény (8)	0,116	0,138	0,172	0,136	0,107	0,126	0,126	0,135

Table 3. Effect of N fertilisation on the growth rates (AGR, RGR) and acceleration rates (AAR) of maize plant and different plant organs determined on the basis of the Richards function in 2001 and 2002 (average of 3 hybrids). (1) Maize plant and organs, (2) Rate of N fertiliser, (3) AGR_{max} (g plant⁻¹day⁻¹), (4) Leaves, (5) Stem, (6) Ear, (7) Grain yield, (8) Maize plant, (9) \overline{AGR} (g plant⁻¹day⁻¹), (10) \overline{RGR} (g g⁻¹day⁻¹), (11) AAR_{max} (g day⁻²).

AGR értéke kismértékben felülmúlta a szemtermés AGR értékét. A szemtermés átlagos AGR értéke (g/nap) 2001-ben 1,85-ről 3,94-re, 2002-ben 1,51-ről 3,32-re nőtt az N-műtrágyázás hatásaként. Az egész kukoricanövény átlagos AGR értéke (g/nap) 2001-ben 2,37-ről 3,66-ra, 2002-ben 1,89-ről 2,69-re nőtt.

Az AGR_{max} értékek hasonlóan fejezték ki a N-műtrágyázás, a hibrid és az évjárat hatását (3. táblázat).

Az átlagos relatív növekedési sebesség (RGR) az N-műtrágyázás hatását a vegetatív szervekben (levél, szár) tendenciájában kimutatta, a reprodukzív szervek és az egész növény növekedésében az RGR változását az N-műtrágyázástól függően nagyfokú variabilitás jellemezte. A növekedés maximális gyorsulásának (AAR_{max}) értéke következetesen nőtt az N-műtrágyázás hatására. A vegetatív szerveket kisebb AAR_{max} értékek jellemezték, mint a reprodukzív szerveket (3. táblázat).

Köszönetnyilvánítás

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

IRODALOM

- Bair, R. A.: 1942. Growth rates of maize under field conditions. *Plant Physiol.* 17: 619–631.
- Berzsenyi Z.: 2008. N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek levélterületének és növénymagasságának növekedési dinamikájára tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 57. 2: 195–210.
- Berzsenyi Z.–Lap, D. Q.: 2000. Különböző tenészcsoportú kukorica (*Zea mays* L.) hibridek növekedésének jellemzése Richards-függvénnyel eltérő évjáratokban. *Növénytermelés.* 49. 1–2: 95–116.
- Berzsenyi Z.–Lap, D. Q.: 2003. A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és N-műtrágyareakciójára tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 52. 3–4: 389–408.
- Berzsenyi, 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 Agronomica Hungarica.* 55: 417–436.
- Causton, D. R.: 1969. A computer program for fitting the Richards function. *Biometrics.* 25: 401–409.
- Causton, D. R.–Venus, J. C.: 1981. The biometry of plant growth. Edward Arnold. London.
- Gastal, F.–Lemaire, G.: 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany.* 53: 789–799.
- Greenwood, E. A. N.: 1976. Nitrogen stress in plants. *Advances in Agronomy.* 28: 1–36.
- Hunt, R.: 1982. Plant growth curves: The functional approach to plant growth analysis. Edward Arnold. London.
- Lambers, H.–Poorter, H.–Van Vuuren, M. M. I.: 1998. Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences. Backhuys Publishers. Leiden.

- Nagy J.*: 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nath, S. R.–Moore, III. F. D.*: 1992. Growth analysis by the first, second, and third derivatives of the Richards function. *Growth, Development & Aging*. 56: 237–247.
- Otegui, M. E.–Andrade, F. H.*: 2000. New relationships between light interception, ear growth, and kernel set in maize. [In: Westgate, M. E.–Boote, K. (eds.) *Physiology and Modelling kernel set in maize*.] CSSA Spec. Publ. No. 29. CSSA, ASA, Madison. WI. 89–102.
- Richards, F. J.*: 1959. A flexible growth function for empirical use. *J. Exp. Bot.* 10: 290–300.
- Ritchie, J. T.–Alagarswamy, G.*: 2003. Model concepts to express genetic differences in maize yield components. *Agron. J.* 95: 4–9.
- Ross, G. J. S.*: 1981. The use of non-linear regression methods in crop modelling. [In: Rose, D. A.–Charles-Edwards, D. A. (eds.) *Mathematics and plant physiology*.] Academic Press. London. 269–282.
- Sárvári M.*: 1995. A kukoricahibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. *Növénytermelés*. 44. 2: 179–191.
- Westgate, M.–Boote, K.* (eds.): 2000. *Physiology and modelling kernel set in maize*. CSSA Special Publication. No. 29. Wisconsin. USA.
- Westgate, M. E.–Otegui, M. E.–Andrade, F. H.*: 2004. *Physiology of the Corn Plant*. [In: Smith, C. W. (ed.) *Corn: Origin, History, Technology, and Production*.] John Wiley & Sons. Inc. 235–271.

A szerző címe – Address of the author:

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