SZENT ISTVÁN EGYETEM

SZERVES- ÉS MŰTRÁGYA HATÁSÁNAK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA A KUKORICA PRODUKCIÓJÁRA TARTAMKÍSÉRLETBEN

Doktori (PhD) Értekezés

Készítette:

Micskei Györgyi

Martonvásár
2011

DOKTORI ISKOLA:	NÖVÉNYTUDOMÁNYI
Doktori Program:	Növénytermesztési és Földművelési

ISKOLAVEZETŐ:	HESZKY LÁSZLÓ tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA rendes tagja SZIE Mezőgazdasági - és Környezettudományi Kar Genetika és Biotechnológiai Intézet, Gödöllő
TÉMAVEZETŐK:	BERZSENYI ZOLTÁN tudományos tanácsadó, az MTA doktora MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár
	JOLÁNKAI MÁRTON intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA doktora SZIE Mezőgazdasági - és Környezettudományi Kar Növénytermesztési Intézet, Gödöllő

….....	.....……..…….....	.....
ISKOLAVEZETŐ		TÉMAVEZETŐK
JÓVÁHAGYÁSA		JÓVÁHAGYÁSA

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS 1
2. CÉLKITŰZÉSEK 3
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 5
3.1. A szabadföldi trágyázási tartamkísérletek 5
3.1.1. Trágyázási kísérletek különböző országokban 6
3.1.2. Trágyázási kísérletek Magyarországon 7
3.1.3. A szabadföldi tartamkísérletek jelentősége 8
3.1.4. A szerves- és műtrágya kölcsönhatásának vizsgálata tartamkísérletekben 9
3.1.4.1. A szerves- és műtrágya hatása a talaj termékenységre 11
3.1.4.2. A szerves- és műtrágya hatása a kultúrnövények növekedésére 13
3.1.5. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica termésére és terméskomponenseire 16
3.2. A növekedésanalízis alapelvei 19
3.2.1. A növekedésanalízis története 20
3.2.2. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszere 22
3.2.3. A függvényillesztés jelentősége a növekedésanalízisben 24
3.2.4. A növekedési mutatók típusai 25
3.2.5. Mérési és mintavételi módszerek a növekedésanalízisben 26
3.2.6. A növekedésanalízis növénytermesztési alkalmazása 27
3.2.7. A növekedésanalízis kapcsolata más tudományterületekkel 29
4. ANYAG ÉS MÓDSZER 31
4.1. A martonvásári trágyázási tartamkísérlet jellemzése 31
4.1.1. A tartamkísérlet kezelései 31
4.1.2. A tartamkísérlet elrendezése 32
4.1.3. A tartamkísérlet talajviszonyai 33
4.1.4. A vizsgált évek klimatikus adatai 34
4.2. A kísérleti kutatómunka ismertetése 35
4.2.1. A mintavételek időpontja és módja 35
4.2.2. A növényminták analizálása 36
4.2.3. Ökofiziológiai mérések, vizsgálatok és a használt műszerek 36
4.3. A növekedési mutatók 38
4.3.1. A növekedési mutatók leírása és kiszámításuk módszerei 38
4.3.2. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerének alkalmazása 43

4.4. A kísérleti adatok biometriai értékelésének módszerei 44
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 47
5.1. A tartamkísérlet 51 éves terméseredményei (1958-2009) 47
5.1.1. A trágyázás hatásának vizsgálata kumulatív terméselemzéssel 47
5.1.2. A trágyázás és az évjárat fő hatása és kölcsönhatása 48
5.2. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére, termés-komponenseire, valamint a levél klorofill-, és nitrogén-tartalmára a vizsgált években (2005-2007) 50
5.2.1. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére 50
5.2.2. A szerves- és műtrágya hatása a terméskomponensek (szemszám és ezerszemtömeg) alakulására 51
5.2.3. A szerves- és műtrágya hatása a szem beltartalmára 53
5.2.4. A szerves- és műtrágya hatása a levél klorofill- és nitrogén-tartalmára 55
5.3. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növekedési jellemzőinek dinamikájára 57
5.3.1. A növényenkénti összes szárazanyag-produkció dinamikája 57
5.3.2. A növényenkénti szemtermés-produkció dinamikája 60
5.3.3. A növényenkénti levélterület-növekedés dinamikája 62
5.3.4. A szárazanyag-produkció növényi részek szerinti megoszlása 65
5.3.5. A szárazanyag-produkció megoszlása a kukorica cső és az egész növény száraztömege között 67
5.4. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényegyedek növekedési mutatóira 69
5.4.1. Az összes szárazanyag abszolút növekedési sebessége (AGR) 69
5.4.2. A levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR) 71
5.4.3. Az összes szárazanyag és a levélterület relatív növekedési sebessége (RGR, RLGR) 74
5.4.4. A nettó asszimilációs ráta (NAR) 77
5.4.5. A levélterület arány (LAR) 80
5.4.6. A specifikus levélterület (SLA) és a levéltömeg arány (LWR) 82
5.5. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényállomány növekedési mutatóira 84
5.5.1. A levélterület index dinamikája (LAI) 84
5.5.2. A termésnövekedés sebessége (CGR) 87

5.5.3. A levélterület tartóssága (LAD) 90
5.5.4. A biomassza tartóssága (BMD) 91
5.5.5. A harvest index (HI) 93
5.6. A termést befolyásoló tényezők összefüggésvizsgálata 94
5.6.1. A termés és a növekedési mutatók közötti összefüggésvizsgálat 94
5.6.2. A termés és a terméskomponensek közötti összefüggésvizsgálat 97
5.7. Az eredmények összefoglalása, új tudományos eredmények 100
5.7.1. Eredmények összefoglalása 100
5.7.2. Új tudományos eredmények 110
6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK 113
7. ÖSSZEFOGLALÁS / SUMMARY 115
8. MELLÉKLETEK 117
M1. Irodalomjegyzék 117
M2. A vizsgált évek vegetációs időszakában (IV.-IX. hónap) hullott csapadékmennyiség és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007) 132
M3. A vizsgált évek vegetációs időszakának (IV.-IX. hónap) havi átlaghőmérséklete és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007) 132
M4. A vizsgált kukorica hibrid leírása 133
M5. Képek 134
M6. Korszerű klasszikus növekedésanalízis program – példa (Hunt et al. 2002) 138
M7. Funkcionális növekedésanalízis program – példa (HP-modell, Hunt és Parsons 1974) 139
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 141

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

AGR = abszolút növekedési sebesség, a növény méretbeli növekedésének rátája, azaz a méret növekedése időegység alatt (g növény^{-1} nap^{-1}, g növény^{-1} hét^{-1})

ALGR = levélterület abszolút növekedési sebessége, a növény asszimiláló levélfelületének növekedése, illetve csökkenése időegység alatt (cm^2 növény^{-1} nap^{-1}, cm^2 növény^{-1} hét^{-1})

b-érték = a regressziós koefficiens becsült értéke

β = standardizált regressziós koefficiens

BMD = biomassza tartósság, a növényenkénti összes száraztömeg idő szerinti görbéje alatti terület (g nap)

CGR = termésnövekedés sebessége, kifejezi a növényállomány szárazanyag produkciójának sebességét, egységnyi tenyészterületre és időegységre vetítve (g m^{-2} nap^{-1}, t ha^{-1} év^{-1})

GE = gabonaegység, 1 GE általában 100 kg búza tőzsdei árának felel meg

HI = harvest index, a gazdaságilag hasznos termés és a növény összes földfeletti tömegének (biomassza) hányadosa (%)

L_A, A = levélterület (cm^2)

L_{Amax} = maximális levélterületet (cm^2)

L_W = levéltömeg, a növény összes levelének friss vagy száraz tömege (g)

LAD = levélterület tartósság, a levélterület index vagy a növényenkénti összes levélterület idő szerinti görbéje alatti terület (nap, m^2 nap)

LAI = levélterület index, a növényállomány egységnyi tenyészterületére jutó levélterületet, (dimenzió nélküli, pozitív szám)

LAI_{max} = maximális levélterület index

LAR, F = levélterület arány, a növényenkénti összes levélterület aránya, a növényenkénti összes száraztömeghez viszonyítva (mm^2 g^{-1}, dm^2 g^{-1})

LWR = levéltömeg arány, kifejezi, hogy az összes asszimilátáknak mekkora hányada marad vissza a levélben (dimenzió nélküli, $0 < x > 1$)

NAR, E = nettó asszimilációs ráta, a szárazanyag produkció rátája, az összes levélterület egységére vetítve (mg mm^{-2} nap^{-1}, g m^{-2} nap^{-1})

NPK = nitrogén-foszfor-kálium

P = tenyészterület (m^2)

PAR = fotoszintetikusan aktív sugárzás

R^2 = többszörös determinációs koefficiens

R_W = gyökértömeg

R_W/W = gyökértömeg arány, a gyökérzet száraztömegének és a növény összes száraztömegének hányadosa (dimenzió nélküli)

RGR, R = relatív növekedési sebesség (ráta), a szervesanyag-tartalom időbeni felhalmozódásának sebessége, kifejezi a növekedés ütemét ($g\ g^{-1}\ nap^{-1}$, $g\ g^{-1}\ hét^{-1}$)

RLGR, R_L = relatív levélterület növekedési sebesség (ráta), a növényenkénti összes levélterület növekedésének rátája a levélterület egységére vetítve ($mm^2\ mm^{-2}\ nap^{-1}$)

SE = standard hiba (szórás)

SLA = specifikus levélterület, kifejezi az átlagos levélterület kiterjedést a levél száraztömegéhez viszonyítva ($mm^2\ mg^{-1}$, $m^2\ g^{-1}$)

SPAD érték = a relatív klorofill tartalom indexe (értéke: 0,0 - 99,9)

$SzD_{5\%}$ = 5%-os szinten szignifikáns differencia

t = idő (nap)

t_W = növényi szerv növekedésének időtartama (nap)

TKN = Teljes Kjeldahl-Nitrogén, a szerves formában kötött nitrogén (szerves N) és az ammónium nitrogén (NH_4-N) mennyiségének a mértéke (%)

W = összes száraztömeg (g)

W_M = hasznos növényi komponens száraztömege (g)

Y = az egész növény száraztömege (g)

Y_{biol} = biológiai hozam (g, kg)

Y_{sz} = hasznos hozam (g, kg)

Z = levélterület (cm^2, m^2)

95% CL = 95%-os konfidencia-intervallum

∑BMD = kumulált biomassza tartósság (kg $növény^{-1}$)

∑LAD = kumulált levélterület tartósság ($cm^2\ nap^{-1}$)

1. BEVEZETÉS

A modern növénytermesztésben a növekedési ráta és a növényi produkció, a termés maximalizálása volt az elérendő cél, napjainkban azonban, a fenntartható gazdálkodás időszakában olyan agroökológiai megközelítés szükséges, amely nemcsak a produkciót, hanem a termesztési rendszer ökológiai fenntarthatóságát is hangsúlyozza. A tartamkísérletek nélkülözhetetlenek a különböző növénytermesztési eljárások, kísérleti kezelések és technológiák tartamhatásának tanulmányozásában, és általuk betekintést nyerhetünk a változás mechanizmusába is. A tartamkísérleteknek, mint élő szabadföldi kísérleti laboratóriumoknak kimagasló tudományos értékük van a kutatásban és az oktatásban, valamint a kutatók képzésében és szaktanácsadásában.

A kukorica növény növekedésének, és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktoroknak egyik fontos vizsgálati módszere a növekedésanalízis. A növekedésanalízis különböző mutatóinak, valamint a kiegészítő agronómiai, ökológiai és fiziológiai méréseknek az alkalmazásával válik lehetővé a növénytermesztési kísérletek eredményeinek tudományos igényű, többparaméteres értékelése.

PhD munkám során Martonvásáron, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetben 1958-ban beállított kukorica monokultúra trágyázási tartamkísérletben növekedésanalízissel és ökofiziológiai mérésekkel vizsgáltuk az istálló-, és a műtrágya hatását a kukoricanövény (*Zea mays* L.) produkciójára, eltérő évjáratokban. A tartamkísérlet két tápanyagszintet foglal magába a hatóanyag-azonosság elve alapján: *1*. szint: 35 t ha^{-1} istállótrágya NPK hatóanyagának megfelelően, istállótrágya, istállótrágya + műtrágya és műtrágya formájában, *2*. szint: 70 t ha^{-1} istállótrágya NPK hatóanyagának megfelelően, istállótrágya, istállótrágya + műtrágya és műtrágya formájában. Három éven keresztül, 2005-2007 között mértük a növény fotoszintetikus produkciójának dinamikájában bekövetkezett változásokat a különböző kezelések hatására, a növény növekedésének teljes időszakában.

A növekedésanalízis vizsgálatokat a növekedésanalízis destruktív (direkt) és indirekt módszereivel végeztük, amely magában foglalta mind a növényegyedek, mind a növényállomány vizsgálatát. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerét alkalmazva vizsgáltuk az istálló-, ill. a műtrágyázás különböző szintjeinek hatását a kukorica növekedésére és növekedési mutatóinak dinamikájára. A funkcionális módszer során az istállótrágya és a műtrágya hatásának jellemzésére és az eredmények értékeléséhez Hunt és Parsons (1974) által kidolgozott számítógépes növekedésanalízis programot használtuk, amely függvényillesztésen alapuló módszerrel számítja ki a növekedési sebességeket és rátákat (Berzsenyi 1996).

2. CÉLKITŰZÉSEK

Vizsgálatunk célja volt, hogy a hatóanyag-azonosság elvén 1958-ban beállított kukorica monokultúra trágyázási tartamkísérletben:

1. a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerét alkalmazva vizsgáljuk és összehasonlítsuk az istálló-, ill. a műtrágyázás különböző szintjeinek hatását a kukoricanövény növekedésére és növekedési mutatóinak dinamikájára monokultúrában, eltérő évjáratokban;
2. a növényegyed és a növényállomány növekedési mutatóinak átlagos és maximális értékeivel jellemezzük az istállótrágya és a műtrágya hatását a kukorica növekedésére, eltérő évjáratokban;
3. adatokat kapjunk arról, hogy az istálló-, ill. a műtrágyázás különböző szintjei milyen mértékben befolyásolják:
   - a kukoricanövény produkcióját,
   - a terméseredményt és a terméskomponensek alakulását,
   - a kukorica levél nitrogén- és klorofill-tartalmát, valamint
   - a kukoricaszem beltartalmát (fehérje, olaj és keményítő), eltérő évjáratokban.

A kísérletben eredetileg felvetett kérdés az volt, hogy ha az istállótrágya NPK-hatóanyagát fele részben vagy egészben szervetlen NPK műtrágyával pótoljuk, helyettesíthető-e az istállótrágya műtrágyával? A tartamkísérlet eredményeiről korábban Győrffy (1979a), illetve Berzsenyi és Győrffy (1994a) közölt adatokat. A dolgozat ezen munkák továbbfolytatását jelenti, felhasználva a korábbi növekedésanalízis kutatások eredményeit (Berzsenyi 2000b).

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Az elmúlt évtizedek növénytermesztési gyakorlatában, a növekedési ráta és a növényi produkció maximalizálása volt a cél. Napjainkban, a fenntartható gazdálkodás elterjedésének időszakában agroökológiai megközelítés szükséges, amely nemcsak a produkciót, hanem a termesztési rendszer ökológiai fenntarthatóságát is hangsúlyozza. Kizárólag tartamkísérletekből nyerhetők megfelelő indikátorok a termesztés fenntarthatóságáról (terméstrendek, az ökoszisztéma minőségét jellemző mutatók), s ily módon korai jelzőrendszerként szolgálnak. A tartamkísérleteknek, mint élő szabadföldi kísérleti laboratóriumoknak kimagasló a tudományos értékük a kutatásban és az oktatásban, valamint a kutatók képzésében és szaktanácsadásában.

A tartamkísérletek nélkülözhetetlenek a különböző növénytermesztési eljárások és technológiák tartamhatásának tanulmányozásában. Ideális lehetőséget nyújtanak a tápelem ciklusok megfigyeléséhez, s betekintést nyerhetünk a változás mechanizmusába is. Tartamkísérletekben mérhető a kezelések halmozott (kumulatív) hatása a termésre, a talaj tápelem-feltöltődésére vagy kimerülésére, és egyéb tulajdonságaira, valamint tartamkísérletekben vizsgáljuk a különböző kísérleti kezelések tartamhatását a lassan változó folyamatokra (talaj szervesanyag-tartalma, pH-érték, talaj-eredetű betegségek, stb.) is.

3.1. A szabadföldi trágyázási tartamkísérletek

A szabadföldi kísérletek alkalmazása alapvető a növény tápelem-szükségletének és a talaj termékenységének vizsgálatában. Agrokémiai ismereteink jelentős része, amely a talaj-trágya-növény rendszerre vonatkozik, a szabadföldi kísérletekkel kapcsolatos (Debreczeni és Debreczeniné 1994). A szabadföldi kísérletek történetét, módszertanát és az adatok statisztikai értékelésének összefoglalását többek között Cochran és Cox (1950), Millar (1955), valamint Fischer (1951) könyveiben, a magyar irodalomban pedig Kádár (1991), Debreczeni és Debreczeniné (1994), valamint Debreczeniné (2009) munkáiban olvashatjuk.

A tartamkísérletek legfontosabb jellemzője, hogy ugyanazokat a kezeléseket ugyanazokon a parcellákon állítják be minden évben, a kezelések időbeni, ún. tartamhatásának vizsgálata céljából (Berzsenyi 2009). A tartamkísérletek olyan nagy értékű, megszüntetésük, vagy szüneteltetésüket követően újból elő nem állítható, többéves folyamatok hatásait őrző, élő ökológiai modellek, amelyek állandó, dinamikus adatbázisként állnak a kutatás szolgálatában, s a nemzeti vagyon részének tekintendők (Jolánkai et al. 2009).

3.1.1. Trágyázási kísérletek különböző országokban

Napjainkban, mintegy 630 (10 évnél idősebb) tartamkísérletet tartanak nyilván a világon, s legtöbbjük Európában található. Az 50 évnél idősebb tartamkísérletek száma kb. 160, a 100 évnél idősebbeké pedig 25. A legtöbb szántóföldi kisparcellás tartamkísérlet vetésforgókkal, monokultúrákkal, a talajok tápanyag-kiegészítését célzó szerves- és műtrágyázással, mikroelemek alkalmazásával, meszezéssel, öntözéssel, talajműveléssel, növényvédelemmel, új fajták tápanyag-reakciójának és esetenként polifaktoriális hatások tanulmányozásával foglalkozik (Debreczeniné 2009).

Az első, valóban kísérleti állomásnak nevezhető intézményt a francia Elzászban Boussingault alapította 1834-ben. Több vetésforgóban tanulmányozta a növények szárazanyag-tömegét, a különböző fenológiai stádiumokban (Millar 1955).

Angliában Lawes 1843-ban hozta létre a Rothamsted-i Kísérleti Állomást, ahol a kísérleti munkák irányításával Liebig egyik tanítványát, Gilbert-et bízta meg. Európában elsőként itt állították be azokat a kísérleteket, amelyek kezeléseiben a hatóanyag-azonosság elve még nem érvényesült, de lehetővé tették a különböző szántóföldi kultúrák megfigyelését monokultúrában, ill. vetésforgóban (Johnston 1994). Műtrágyázási kísérleteik eredményeit első ízben 1847-ben publikálták (Lawes 1847). Az 1843 és 1882 között beállított kilenc tartamkísérletből nyolc szinte változatlan formában ma is folyik „Rothamsted Classicals” néven (Rothamsted Guide 2006).

Németországban az első mezőgazdasági kísérleti állomás 1851-ben létesült Lipcse mellett. 1867-1869 között Mengyelejev irányításával műtrágyázási szabadföldi kísérleteket állítottak be Oroszország több pontján, egységes módszerrel. Kísérleti adataikat, elsőként a világon, statisztikai értékelésnek is alávetették. Az Egyesült Államokban Connecticut-ban, egy szintén Liebig tanítvány, Johnson alapította az első mezőgazdasági kísérleti állomást 1875-ben. Az 1878-ban Hallében beállított, "Ewiger Roggenbau" néven ismert kísérlet célja többek között az volt, hogy ismertté váljon: a műtrágyával mennyi ideig lehet helyettesíteni az istállótrágyát. Ezek a kísérletek még nem a mai értelemben vett ismétléses kisparcellás kísérleti technikát alkalmazták, hiszen az, hosszú fejlődés eredményeképpen, csak a 20. század elején vált általánosan elfogadottá (Debreczeni és Debreczeniné 1994).

3.1.2. Trágyázási kísérletek Magyarországon

A legtöbb kisparcellás kísérlet olyan céllal létesült, hogy vizsgálja a vetésforgó, a monokultúra, a szerves- és műtrágyahatások, a talajművelés, a növényvédelem hatásait, az új fajták tápanyag-reakcióit és a tényezők kölcsönhatásait (Kismányoky 2009).

Magyarországon a tudományos igényű talajtermékenységi-agrokémiai kutatások Cserháti Sándor munkásságával kezdődtek. Cserháti és Kosutány (1887) „A trágyázás alapelvei”, Cserháti (1900) pedig az „Általános és különleges növénytermelés” című könyvükben foglalták össze a növénytáplálás terén elért elméleti és gyakorlati eredményeiket. Cserháti írta le, hogy az időjárás befolyásolja a trágyahatásokat, ezért az egyéves kísérlet sohasem elégséges. A szabadföldi kísérletek alatt ekkor még a minimum 0,3 ha területű üzemi parcellákat értette, ahol már „azonos feltételeket lehet biztosítani” a talaj, a vetőmag minősége, a vetés sűrűsége stb. tekintetében. Tehát valójában üzemi kísérletekről volt szó.

Hazánkban a harmincas évek elején indult az első nagyszabású, már talajvizsgálatokkal is összekapcsolt műtrágyázási kísérletezés. A kísérleteket évente más-más helyen állították be, ill. csak egy évig folytatták, ezért érdemi trágyahatásokat nem tudtak regisztrálni (Debreczeni és Debreczeniné 1994).

Ebből okulva, a harmincas évek végétől id. Várallyay (1950, 1954) mintegy 125 kísérletet indított az ország különböző tájain, eltérő talajtípusokon. Ezek már kisparcellás, ismétléses és statisztikailag értékelhető, egyszerűsített, klasszikus tápanyag-hiány kísérletek. A többéves eredményei alapján, talajtípusonként határozta meg a kielégítő ellátottság alsó határértékeit. A kálium-ellátottság megítéléséhez külön kategóriákat állított fel a kalászos gabonákban, valamint a kapásnövényekben.

Az 1950-es és ’60-as években több hazai kutatóhely állított be szabadföldi kísérleteket a műtrágyák és az istállótrágya hatásának összehasonlítására. A gyakorlat által felvetett egyik fontos kérdésre keresték a választ, azaz hogy istállótrágyázás nélkül, csak műtrágyázással tartósan fenntartható-e a talaj termékenysége? Ezeknek a szabadföldi kísérleteknek a fő célja az optimális műtrágyaadag meghatározása, vagyis a műtrágyaigény becslése volt. E munkák eredményeit Sarkadi és Bánó (1967) foglalta össze a „Trágyázási Kísérletek 1955-1964” című kiadványban.

Győrffy Béla pillangós szakasz beiktatása nélkül állította be kísérleteit az 1950-es évek végén és az 1960-as évek elején Martonvásáron. Ezek a tartamkísérletek, amelyek az országban a legrégebbiek közé tartoznak, teljes mértékben megfeleltek a módszertani követelményeknek (Árendás 1998).

A műtrágyák hatásvizsgálatában is mérföldkövet jelentettek Győrffy (1962, 1979b) új szemléletű kukorica-kísérletei. Ezekben Berzsenyi-Janosits és I'só korábbi tapasztalatait felhasználva kimutatta, hogy a műtrágya érvényesülése igen szoros kapcsolatban van a növény fajtájával és állománysűrűségével. A növényszám növelésével a műtrágyahatás megtöbbszörözhető. Ez a felismerés magával hozta azoknak a fajtáknak, hibrideknek elterjedését, amelyek jobban tűrték a magasabb tőszámot és műtrágya reakciójuk is kedvezőbb volt.

A trágyázási-, agrotechnikai kísérletek eredményei hozzájárultak ahhoz, hogy a műtrágyázási gyakorlat gyökeresen megváltozott, s a tápanyag-felhasználáson belül a műtrágyák részaránya ugrásszerűen nőtt. A műtrágyák szerepét hangsúlyozva Győrffy (1978) szerint a "zöld forradalomban" a termésnövekedést háromnegyed részben a nagyobb arányú műtrágyahasználat alapozta meg.

Századunk első felében a hazai növénytermesztés szinte teljes egészében istállótrágyákkal biztosította hatóanyag-igényét. A trágyázási gyakorlat gyökeres változásával a '80-as évek végéig látványosan csökkent a felhasznált istállótrágya mennyisége (20 millióról 15 millió tonnára), valamint az összes hatóanyag-felhasználáson belüli részaránya (Árendás 1998).

A magyarországi műtrágyázási kísérleti helyek legújabb kutatási eredményei a Debreczeniné és Németh (2009) által szerkesztett „Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti eredményei (1967-2001)” című monográfiában került összefoglalásra.

3.1.3. A szabadföldi kísérletek jelentősége

A talaj termékenységének változásairól, azt ezt befolyásoló tényezők szerepéről csak több évtizeden át fenntartott tartamkísérletek eredményeinek segítségével tudunk tájékozódni. Thaer 1809-ben megjelent „A Racionális Mezőgazdaság Alapelvei” című munkájában arra a következtetésre jutott, hogy a talaj termékenysége humusztartalmától függ, s ez a megállapítása alapjaiban racionalizálta meg a mezőgazdasági gyakorlatot (Kádár 1996).

A szabadföldi kísérletek felett nem járt el az idő, azok nem nélkülözhetőek, hiszen értékes adatokat nyújtanak számos kérdés vizsgálatában, amelyeket szabadföldi viszonyok kizárásával nem tisztázhatunk. Egyre inkább elfogadottá válik az a nézet, hogy még a 10-15 éves vizsgálatok sem elégségesek a megbízható változások, a ritka jelenségek kimutatására. Ehhez sok évtized, esetleg évszázad szükséges, és idővel, hatványozottan nőhet a vizsgálatok értéke (Johnston 1988).

Jenkinson (1991) kiemelten fontosnak tartja a tartamkísérletek további folytatását, hiszen az azokból nyert eredmények, megfigyelések rendkívül fontosak nemcsak az agrár kutatóknak, de több más tudományágban dolgozó kutatók számára is. Alapjául szolgálnak a modern ökológiai és

környezetvédelmi kutatásoknak is. A tartamkísérletekből származó több évtizedes eredmények a különböző számítógépes szimulációs előrejelzések megerősítésében is nagy segítséget nyújtanak (Jenkinson és Rayner 1977).

A mérsékelt égövön a talaj szervesanyag-tartalma nagyon lassan változik, ezért ennek tanulmányozásához és a megfelelő egyensúlyi szint meghatározásához ugyancsak a hosszú időn át változatlan tartamkísérletek nyújtanak megfelelő hátteret (Johnston et al. 2009). A Rothamsted-i Kutatóintézetben 1843 óta folynak kísérletek, hogy megállapítsák a szerves-, illetve a műtrágyázási kezelések hatását a talaj N-tartalmára (Powlson et al. 1986). Az elmúlt 150 év alatt vett talaj- és növénymintákat elemezve, tanulmányozható volt például, a Cd-terhelés újkori exponenciális növekedése a talajban és a növényben.

Mindezek mellett napjaink trágyázási kutatásaiban nagy értéket képviselnek azok a kísérletek is, amelyekben a klimatikus és edafikus tényezőkön kívül a biológiai és az agrotechnikai tényezőknek (növényi sorrend, fajta, talajművelés, öntözés, műtrágyázás módja és időpontja, egységnyi területre jutó átlagos növényszám, vetésidő, stb.) a hatását vizsgálják (Balláné és Sarkadi 1977, Berzsenyi 1992, Berzsenyi és Győrffy 1996, 1997a és b; Győrffy 1962, 1975; Lap és Berzsenyi 1993, Nagy 1995, 1996; Pethes et al. 1994, Sárvári 1995a és b, stb.).

A növénytermesztés színvonalával (fajta, trágyaadagok, növényvédelem, növényápolás) lépést tartó, de alapelveiben (kezelések, talaj- és növényvizsgálatok) maradandó, sok évtizedes hazai tartamkísérletek továbbvitelének a kutatási feladatok között prioritást kell kapniuk (Berzsenyi 2009). Bár a kísérletek elsősorban valamilyen tudományos probléma vizsgálatára irányulnak, minden esetben szolgálják az oktatás és a tanácsadás céljait is (Kismányoki és Jolánkai 2009). A koncepciózus, jól beállított tartamkísérleteink a nemzeti vagyon részét képezik, megőrzésük és fenntartásuk a jövő generáció számára mindnyájunk feladata.

3.1.4. A szerves- és műtrágya kölcsönhatásának vizsgálata tartamkísérletekben

A szerves trágyának a benne lévő tápanyagokon kívül egyéb kedvező hatása is van a talajra és a növényre: NPK-n kívül kalciumot, magnéziumot, mikroelemeket is tartalmaz, a talaj savanyúságát tompítja, javítja a talaj fizikai tulajdonságait. Hosszú ideig tartó utóhatása van, ami növeli a mikroorganizmusok számát (Árendás 1998).

A műtrágyák elterjedése előtt az istállótrágya, mint legalapvetőbb trágyafféleség jelentőségét mutatja, hogy Cserháti és Kosutány (1887) a gazdaság méreteihez ajánlotta igazítani az állatállományt, és a termelt trágya mennyiségét. Hazánkban az 1950-es évekig általános volt az a nézet, hogy az istállótrágyáknak nagyobb a termésnövelő hatása, mint a műtrágyáknak, s ez

utóbbiakkal a talaj termékenysége nem növelhető hosszabb időn keresztül terméscsökkenés nélkül (Árendás 1998).

A termékenység fenntartása érdekében a talajok szervesanyaggal való ellátását Kreybig (1951) is alapvető fontosságúnak ítélte. Ennek alapján a talajerőgazdálkodás tényezői közül az istállótrágyát, mint legfontosabb elemet tekintette.

A XX. század első felében a hazai növénytermesztés szinte teljes egészében istállótrágyákkal biztosította hatóanyag-igényét, s egészen az 1950-es évekig szilárdan tartották magukat az olyan nézetek, amelyek szerint a műtrágyák használata azok bizonytalan hatása miatt felesleges (Cserháti 1921, Grábner 1935).

A trágyázási rendszereknek a növényekre, talajra gyakorolt hatásait a műtrágyák megjelenése óta folyamatosan tanulmányozzák a kutatók. A kezdeti időszakban éles viták voltak arról, hogy mennyiben tér el a szerves trágya és a műtrágya hatása a terméseredményekre és vajon fenntartható-e a talajok termékenysége huzamosabb ideig csak ásványi trágyák alkalmazásával (pl: Kreybig 1931, 1951; id. Várallyay 1950, Sarkadi 1963, Győrffy 1965)?

Már a XIX században világossá vált, hogy ezekre a kérdésekre csak hosszú időn át tartó tartamkísérletek eredményei alapján lehet választ adni (Árendás 1998). Ennek felismerése tette szükségessé, hogy a XIX. század közepén meginduljanak azok a kutatások, melyeknek ma felbecsülhetetlen a tudományos értékük a kutatásban és oktatásban, a mezőgazdaság, a fenntarthatóság és az ökológia kérdéseivel foglalkozó szakemberek számára.

Magyarországon a műtrágyák felhasználása hosszú ideig nem tudott meghonosodni a gyakorlatban, bár Cserháti és Kosutány már 1887-ben hangsúlyozták azok istállótrágyákkal szembeni előnyeit, amely szerint:

- mennyiségük nem korlátozott, szükség szerint beszerezhetőek;
- a tápelemek olyan arányban juttathatók ki, amilyet a termesztés megkíván;
- a műtrágyák gyorsan ható, könnyen oldódó tápanyagokat tartalmaznak;
- koncentráltabb tápanyagtartalmuk révén szállításuk, kezelésük egyszerűbb (Árendás 1998).

Gyárfás (1926) a műtrágyázás hatástalanságát abban az időben, a kidolgozatlan technológiában, és a hiányos hatásvizsgálatban látta. Kreybig (1931) szerint a magyar gazda azért csalódott a műtrágyákban, mert nem tudta okszerűen használni azokat. Sarkadi (1975) a műtrágya-használat széles körű elterjedésének gátjaként, a terményekhez viszonyított kedvezőtlen ár-arányt nevezte meg.

3.1.4.1. A szerves- és műtrágya hatása a talaj termékenységre

Iversen a dániai Askovban állította be az első klasszikus kísérletet, ami a hatóanyag azonosság elvén alapult. Eredményei egyértelműen a műtrágyázott kezelések fölényét bizonyították (Iversen 1960). E kísérletekkel szemben az ellenérv azonban az volt, hogy a vetésforgóban alkalmazott füves-here szakasz biztosította a termések szinten tartásához, és növeléséhez szükséges szervesanyag-mennyiséget (Klapp és Schultze 1960). Oroszországban nehéz vályogos, gyepes podzol talajon állítottak be hatóanyag-ekvivalens kísérleteket 1931-ben (Koselkov et al. 1960).

A XX. század második felének talajerő-gazdálkodását Rotini (1977) a szerves- és ásványi trágyázás korszakaként jelölte meg. Ez a szemlélet hazai trágyázási tartamkísérleteinkben is nyomon követhető, hiszen ezek többségében a kezelések nemcsak az istálló- és műtrágyák hatásának, hanem azok kölcsönhatásainak vizsgálatára is lehetőséget adnak.

A Rothamsted-ben 1843-ban megkezdett, tartamkísérletekben folyamatosan vizsgálják a szerves és műtrágyák hatásait a talaj termékenységére (Leigh és Johnston 1994, Debreczeni és Debreczeniné 1994). Russel (1933) búza monokultúrás termesztésekor az istállótrágyázott parcellákon a szervesanyag jelentős növekedését figyelte meg, ami a talaj sötétebb színében és a könnyebb megművelhetőségben is megmutatkozott. Bár a műtrágyázott parcellák talajának szervesanyag-tartalma csaknem fele volt az istállótrágyázott parcellákénak, a termésátlagok alapján mégis a műtrágyázott kezelések bizonyultak jobbnak (Jenkinson 1991).

Hazai és külföldi szerzők is egyetértenek abban, hogy a műtrágyahatást nagymértékben befolyásolja az időjárás. Az időjárás befolyásolja a termőhely hő- és nedvességellátását, közvetett hatást gyakorol a talajban lejátszódó folyamatokra, a növényi növekedésre, a tápanyagfelvételre, a termés nagyságára, ezáltal a trágya érvényesülésére (Nagy 1988, Kádár 1992).

Szélsőséges, erősen kötött talajokon, a tápanyagszolgáltató-képesség növelésén túl Gyárfás (1925) döntőnek tartotta az istállótrágyának a művelhetőségre és vízgazdálkodásra gyakorolt pozitív hatásait is. Stefanovits (1981) agyagos talajokon a szalmás trágyaanyagok használatát ajánlotta, amelyek növelik a talaj porozitását, ezáltal javítják levegőzöttségét és víznyelését.

Homoktalajokon az érett istállótrágya nagyobb kolloidtartalma, főként a víztartó képesség növelése révén javít a talaj fizikai tulajdonságain. Ezt a megállapítást igazolja Bauer (1984) kecskeméti lepelhomokon végzett kísérletének eredménye is, melyben az istállótrágya felülmúlta a műtrágya hatását.

Az istállótrágya fontosságát Dobrzanski (1959) és Kullmann (1962) főleg azzal indokolják, hogy a szervesanyag-tartalom növelésével sokoldalú és általánosan kedvező hatást fejt ki a többi

talajtulajdonságra. Christensen (1997) véleménye szerint az istállótrágya – tápanyag-szolgáltató képességén túl – kompenzálni tudja a talaj humusz veszteségét és mérsékli a talajok savanyodását.

Az utóhatások vizsgálatával már Cserháti és Kosutány (1887) is foglalkozott, és az istállótrágya hatóanyagok érvényesülését 4 évre elosztva a következő arányokat állapították meg: "Az istállótrágya hatásánál az első évre 50, a másodikra 25, a harmadikra 20, a negyedikre pedig, 5 % -ot számolhatunk." A hasznosulási eloszlást kísérleti eredményeik alapján Sarkadi és Bánó (1967) is négy éves intervallumra határozták meg, amiben az NPK hatóanyagok mintegy fele az 1. évben érvényesült. A talajok kötöttsége alapján megadott utóhatások szerint homokon 3, vályog talajokban 4, agyagtalajokon pedig, 5 évre tervezhető az istállótrágya hatóanyagainak érvényesülése (Sarkadi 1964).

Holló (1988) kukorica monokultúrában és kukorica-búza dikultúrában határozta meg az istállótrágya tápanyagainak hasznosulását. Eredményei szerint csernozjom barna erdőtalajon a makroelemek utóhatása legalább 3 évig kimutatható. Kísérleteiben a makroelemek hasznosulása kukorica monokultúrában egyenletesebb volt, mint kukorica-őszi búza dikultúrában. A hagyományos szalma-almos istállótrágya N-P_2O_5-K_2O tartalmát Sarkadi (1975) véleményével megegyezően 0,5 - 0,25 - 0,6 % -ban állapította meg.

A műtrágyák hatóanyagaival összehasonlítva több szerző is a N 50 % -os, a P és K azonos mértékű hasznosulásáról számol be az istállótrágya esetében (Győrffy 1979a). Holló (1988) szerint a műtrágyákkal kiegészített istállótrágyákban a foszfor és kálium egyenértékűsége mellett a nitrogéntartalom helyettesíthetősége 77-95 % -os is lehet. Erdőmaradványos csernozjom talajon Sarkadi (1993) szerint az istállótrágya hatóanyagainak 3. és 4. évi hatása akkor sem elhanyagolható, ha a kiszórt mennyiség hektáronként nem éri el a 40 tonnát.

Szarvason csernozjom réti talajon végzett műtrágyázási tartamkísérletben négy N-ellátottsági szinten (0, 80, 160 és 240 kg ha^{-1}) vizsgálták a talajok N-mérlegét (Izsáki és Iványi 2002). A növények által kivont N-mennyiség növényfajtától és évjárattól függően 40-260 kg között változott hektáronként.

Czuba (1978) szerint a műtrágyák fokozott használata mellett továbbra is nagy a szervestrágyák jelentősége, különösen a homoktalajokon és a kevés betakarítás utáni maradványt hátrahagyó növények termesztésekor. Megállapította, hogy a több éves szervestrágyázás a talaj kémiai, fizikai és biológiai tulajdonságait előnyösebben befolyásolja, mint az egyenértékű mennyiségű hatóanyagot tartalmazó NPK-műtrágya.

A hatóanyag-azonosság alapján vizsgált hazai istálló- és műtrágya összehasonlító kísérletek döntő többségét vályog- és agyagos vályog talajokon állították be (Árendás és Csathó 1994, 1996). Az évenkénti műtrágyázás kedvezőbb hatású volt, mint a periódikus istállótrágya-felhasználás,

kivéve agyagtalajon, ahol a szélsőségesen kötött (K_A = 55), mésztelen sziken az istállótrágya több termést eredményezett. Relatíve kevesebb adat áll rendelkezésünkre olyan kísérletekből, amelyekben a hatóanyag-azonos trágyázási rendszereket homok, homokos vályog és agyag talajokon hasonlították össze (Árendás 1998).

Hoffmann (2009) barna erdőtalajon, 46 éve folyó szántóföldi tartamkísérletben vizsgálta a talaj termékenységének a változását az istálló- és az NPK műtrágyák hatására. Eredményei alapján az istállótrágya hatékonysága 82 %-os volt az ekvivalens hatóanyag tartalmú NPK műtrágyához viszonyítva. Az istállótrágya átlagos N-hasznosulása csupán 29,3 %, míg az ekvivalens műtrágya adagoké 49,8 % volt (Hoffmann et al. 2010).

3.1.4.2. A szerves- és műtrágya hatása a kultúrnövények növekedésére

Az 1878-ban, Hallében beállított kísérlet eredményei alapján az első 15 évben a műtrágyázott parcellák szemtermése volt nagyobb, később az istállótrágyázottaké (Merker 1956). Az első 75 év alatt a kezelések kumulált termésmennyisége azonos volt, azonban Merker felhívta a figyelmet az istállótrágyázás nagy munkaigényességére és költségességére is.

Angliai tartamkísérletek tapasztalatait is összegezve Balláné (1964) megállapította, hogy a műtrágyák nem okoztak terméscsökkenést, noha a kísérletek többségében az istállótrágyákkal kétszer-háromszor több N-t adtak ki. Istállótrágya hatására a talaj szervesanyag-tartalma jobban nőtt, mint műtrágyával, de a nagyobb szerves- és összes tápanyag-tartalmú parcellákon nem lett több a termés.

Magyarországon az istállótrágyák és a műtrágyák hatásának szakmailag megalapozott összehasonlító vizsgálata a nagyüzemi termelésre való áttéréssel együtt az 1950-es évek második felében és a '60-as évek elején indult meg az ország több pontján. E kísérletekkel a kutatók hazai viszonyaink között is arra kerestek választ, hogy a tartós műtrágya-használattal növelhetők-e a termések, megőrizhető-e a talajok termőképessége (Árendás 1998). Ezek a kérdések azért merültek fel, mert a nagyüzemi mezőgazdasági termelés kialakulásával új állattartási- és takarmányozási rendszerek jöttek létre, és az istállótrágya korlátozott mennyisége, valamint az istállótrágyázás nagyobb munkaigénye gátolta az intenzív talajerő-gazdálkodás megvalósulását.

Szélsőségesen aszályos kompolti körülmények között Pekáry és Kiskéri (1976) az istállótrágya és a műtrágya kombinációjával évi $N_{130}P_{70}K_{150}$ hatóanyagszinten ugyanolyan kukorica ill. kalászos terméseket kaptak, mint kizárólag műtrágyával. Őszi búza kísérletekben Koltay (1967) nem tapasztalt szignifikáns eltérést a hatóanyag-azonosság elve alapján beállított trágyázási kísérlet

szervestrágya + $(NPK)_1$ és $(NPK)_2$ kezelései között, viszont a kombinált hatóanyag kijuttatás minden esetben hatásosabb volt, mint a kizárólagos istállótrágya használat.

A hatóanyag-azonosság elve alapján, kukorica monokultúrában, erodált erdőmaradványos csernozjom talajon vizsgálta Győrffy (1979a) az istálló- és műtrágya hatását, és 16 év átlagában a műtrágyázás előnyét tapasztalta. A négy trágyázási ciklust követően az istállótrágya hatóanyagainak hasznosulása 70 % volt a műtrágyákéhoz viszonyítva, kétszeres hatóanyag kijuttatásakor azonban már elérte a 75 %-ot. A Győrffy (1979c) által végzett műtrágyázási tartamkísérletek jól jellemzik a műtrágyadózisok növekedésének optimumát az idő előrehaladtával. Ugyancsak Győrffy (1979b), kukorica-búza dikultúra 16 éves kumulált terméseredményei alapján megállapította, hogy a trágyázatlan kontrollhoz viszonyítva az istállótrágyázott kezelések 17 %, a műtrágyázottak 36 %, a kombinált kezelések pedig 26 % terméstöbbletet eredményeztek.

Csernozjom barna erdőtalajon az istállótrágya és a műtrágya együttes hatása Holló (1988) szerint nem nagyobb, mint az azonos hatóanyag-tartalmú műtrágyáé, sőt azonos hatóanyag-tartalom esetén annál jobb érvényesülés figyelhető meg, minél nagyobb a műtrágya aránya az istállótrágyához viszonyítva.

Az istállótrágya és a műtrágyák kölcsönhatása Sarkadi (1975) szerint a körülményektől függően negatív, pozitív és nem kimutatható lehet. Tápanyagban gazdag talajokon az istállótrágya a könnyen oldható tápanyagtartalom növelésével negatív hatású lehet. Olyan esetekben, amikor a rendszeresen adott szervestrágya nagyobb mértékben javítja a talaj termékenységének fizikai, fizikokémiai és biológiai tényezőit, mint a tápanyag-szolgáltatását, a kölcsönhatás pozitívvá válhat. Általában kisebb adagok használata esetén pedig, előfordulhat, hogy a műtrágya-hatást befolyásoló ellentétes irányú tényezők kiegyenlítik egymást, így kölcsönhatás nem mutatható ki.

Koltay (1967) 4 búzafajta átlagában elemezte az istállótrágya és az azonos hatóanyag-tartalmú műtrágya hatását Martonvásáron. Kedvező csapadék-ellátottságú években a 10 és 20 t ha^{-1} istállótrágya adag termésfokozó hatása csak fele volt a műtrágyáénak. Szélsőségesen száraz évjáratokban a különbség nem volt ilyen kifejezett, sőt a kisebb adag hatására esetenként az istállótrágya kezelés volt előnyösebb.

Erdőmaradványos csernozjom talajon a kezeletlen parcellák növényeinek termésével összehasonlítva a 60 t ha^{-1} dózisú istállótrágya 40, a vele azonos hatóanyagot tartalmazó műtrágya 60 %-os termésnövelő hatását állapította meg Balláné (1973) 12 év eredményei alapján. A kísérlet eredményeit 20 év után összegezve nem tapasztalt jelentős arányváltozásokat (45 és 67 %) a szerves- és a műtrágya hatásában (Balláné 1980). Az istállótrágyázott kezelések nagyobb teljesítményét figyelték meg Kováts et al. (1988) pszeudoglejes barna erdőtalajon kukorica és

vöröshere termésében, viszont búzában ezen a talajtípuson is a műtrágyázás bizonyult kedvezőbbnek.

Az istállótrágya makroelemeinek hasznosulását három tápanyagellátási szinten vizsgáló Holló (1988) eredményei is megerősítik az előbbi megállapításokat. Véleménye szerint, csernozjom barna erdőtalajon a kis adagú kezelésben (M_1) a műtrágya-N hasznosulása közel kétszerese volt az istállótrágyáénak (36-67 % ill. 27-39 %). Az M_3 tápanyagszinten a műtrágyák nitrogénje már rosszabb hasznosulást mutatott, miközben az istállótrágyáé azonos szinten maradt (31-44 % ill. 29-38 %). Megállapították, hogy azonos hatóanyagszinteken a szervestrágyázás direkt- és utóhatása kisebb, mint a műtrágyázásé (Holló et al. 1986).

Kováts et al. (1988) keszthelyi Ramann-féle barna erdőtalajon beállított kísérletek 20 éves tapasztalatait összegezték. A 35, 70 és 105 t ha^{-1}-os istállótrágya adagokkal összehasonlítva az NPK-ekvivalens műtrágyák hatására évenként 0,35; 0,81 és 0,55 t ha^{-1} GE többletet mértek.

A szerves és műtrágyák hatásáról a búza és kukorica termésére erdőmaradványos csernozjom talajon Sarkadi (1991) közölt átfogó értékelést. Közel három évtizedes kísérleti adatok alapján megállapította, hogy kukorica-búza dikultúrában az istállótrágyákkal azonos hatóanyag-mennyiségű, évenként adott műtrágyák termésnövelő hatása statisztikailag is igazoltan felülmúlta a negyedévenként adott 35-60 t ha^{-1} istállótrágyáért. Kimutatta, hogy csernozjom jellegű talajon csak szeretlen műtrágyákkal is fenntartható a talaj termékenysége, a gabonák tarló- és gyökérmaradványai elegendő szervesanyag-utánpótlást biztosítanak. Berzsenyi és Győrffy (1994a, b) 32 év kumulált terméseredményei szerint is az egyenletesebb hatóanyag kijuttatást biztosító műtrágya-kezelések kedvezőbb hatását mutatta ki monokultúrában és dikultúrában egyaránt.

A szerves és műtrágyázás tartamhatásának összehasonlító vizsgálatáról csernozjom barna erdőtalajon Holló (1994) számolt be. Az istállótrágya és a műtrágyák rotációnkénti és 24 évi kumulált hatásának összehasonlítása alapján megállapította, hogy az önmagában adagolt istállótrágya mind a három vetésforgóban (kukorica monokultúra, kukorica-búza dikultúra, négyes forgó) kisebb mértékben növelte a szemtermést, mint az azonos hatóanyag tartalmú műtrágyák. A kétszeres hatóanyag-mennyiséggel kezelt parcellákon nem volt igazolható különbség a két trágyázási mód szemtermésre gyakorolt hatásában.

A szerves és műtrágyázás 30 éves tartamhatását Ramann-féle barna erdőtalajon Németh (1995) foglalta össze. Vetésforgóban, három tápanyagszinten, az istállótrágyával ekvivalens mennyiségű műtrágyában adott hatóanyag nagyobb mértékben növelte a termést, mint az istállótrágya.

Árendás és Csathó (2002) az NPK hatóanyag-azonosság elvén beállított hazai szabadföldi szerves- és műtrágyázási tartamkísérletek 20 éves eredményeiből készített értékelő elemzést, amely

szerint az évenként kijuttatott műtrágyák kedvezőbb hatásúak voltak, mint a periodikus istállótrágya felhasználás. A trágyázatlan kontroll parcellák terméséhez viszonyítva a 8,2 t/ha/év adagú istállótrágya 22 %-kal, az egyenletesebb növénytáplálást biztosító műtrágyák 36 %-kal növelték a termés mennyiségét. A talaj szervesanyag-tartalom növekedésével nemcsak a tápanyagok termésnövelő hatása, de a trágyázási rendszerek közötti különbségek is fokozatosan mérséklődtek.

3.1.5. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica termésére és terméskomponenseire

Agronómiai értelemben a trágyázás hatékonyságát a kijutatott tápanyag egységére vetített hasznos termés (szemtermés) mennyiségeként fejezik ki (Sarkadi 1975, Bocz 1976, Baligar és Duncan 1990).

Általánosan bizonyított, hogy a különböző kukorica genotípusok (hibridek, beltenyésztett vonalak) N-hatékonysága eltérő. Számos kutatási eredmény fontos adatokat tartalmaz a kukoricahibridek N-hatékonyságának javulásáról és a különböző N-szinteken kapott eltérő termésreakciókról. Carlone és Russell (1987), valamint Russell (1991) vizsgálatai azt mutatják, hogy az 1970-es és 1980-as évek hibridjeinek megvan az a genetikai potenciálja, hogy hasznosítani tudják a nagyobb N-dózis előnyeit. A hatékonyság javulása a nemesítés eredményeként nagyobb terméspotenciállal rendelkező genotípus fontos sajátossága (Russell 1991, Duvick 1992).

Számos hazai kutató foglalkozott a kukoricahibridek optimális N-szintjének meghatározásával eltérő edafikus és klimatikus viszonyok között (Bocz et al. 1983, Debreczeni és Debreczeniné 1994, Futó és Sárvári 2003, Menyhért 1985, Nagy 1988, Sárvári 1995a). Kevésbé ismert azonban a N-műtrágyázás, az évjárat és a kukoricahibrid kölcsönhatása tartamkísérletek adatainak biometriai elemzése alapján.

Korábbi hazai és külföldi vizsgálatok szerint 100 kg szemtermés a hozzá tatozó melléktermással együtt az esetek többségében 2-2,5 kg N-t; 0,9-1,1 kg P_2O_5-t és 1,6-2,0 kg K_2O-t tartalmaz. A kísérleti adatok szerint ugyan az egyes hibridek, termőhelyek és műtrágyázási szintek szignifikánsan befolyásolják a fajlagos tápanyagtartalmat, de az évjárathatás olyan nagy, hogy gyakorlati célra elegendő, ha az átlagos 2,2 - 1,0 - 2,0 fajlagos N-P_2O_5-K_2O tartalommal becsüljük a kukorica tápanyagigényét (Sarkadi 1975).

Árendás és Csathó (2002) eredményei alapján, a talaj termékenysége istállótrágyázás nélkül is növelhető rendszeres műtrágyázással, kukorica monokultúrában.

A Győrffy (1979a, c) által végzett műtrágyázási tartamkísérletek jól jellemzik a műtrágyadózisok növekedésének optimumát az idő előrehaladtával. Míg az 1960-as évek közepéig

termesztett hibridek termésgörbéje 80-120 kg N adag esetében már ellaposodott, az 1970-es évek hibridjeinek az optimális N-adagja 160 kg ha^{-1} volt.

Tóth és Kismányoky (2009) a vetésforgók és a trágyázási rendszerek összefüggéseit vizsgálta, 40 éves tartamkísérletben. Monokultúrában a kukorica termése nem műtrágyázott esetben 2,1 t ha^{-1} volt, ami műtrágyázással több, mint háromszorosára emelkedett. A legnagyobb termést az ötszakaszos vetésforgóban kapták (kukorica-szudánifű-búza-zabosbükköny-búza), ahol a kukorica részaránya csak 20 %-os volt.

Bocz és Nagy (1981) szerint az optimális nitrogén-ellátás a kukorica terméskomponensei közül jelentősen hozzájárul a csövenkénti szemszám alakulásához, ám kevésbé az ezerszemtömeg növekedéséhez. A szemszám különösen szorosan korrelál a szemterméssel stressz körülmények között (Egli 1998). A terméskomponensek és a szemtermés közötti korreláció ellentétes irányú változása – a N-ellátottságtól függően – a terméskomponensek közötti kompenzáció egyik megjelenési formájának tekinthető (Berzsenyi és Lap 2003).

Sárvári és Győri (1982) monokultúrában és vetésváltásban termesztett kukorica beltartalmi paramétereit vizsgálta. Monokultúrás kísérletben alacsonyabb volt a kukorica fehérjetartalma (8,06 %), mint vetésváltásban (8,61 %), ami hektáronként 38,5 kg fehérjehozam kiesést eredményez 7 t ha^{-1}-os termésátlagnál. Kralovánszky (1975) és Bálint (1977) mellett Izsáki (2006) is a terméshozam és a fehérjetartalom közötti negatív összefüggésről számolt be.

Izsáki (2006) a kukoricaszem fehérjetartalmát csernozjom réti talajon végzett műtrágyázási tartamkísérletben vizsgálta, négy N-ellátottsági szinten (0, 80, 160 és 240 kg ha^{-1}). Megállapította, hogy az évjárat a fehérjetartalmat nagyobb mértékben befolyásolja, mint a N-ellátottság. Míg a N-trágyázás a fehérjetartalmat maximum 1.3 - 2.0 %-ponttal növelte, addig az évjárathatás ennek 2-3-szorosa volt. Nitrogén trágyázás hatására, a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva a kukoricaszem nitrogén-tartalma 30 %-kal, vagy azt meghaladó mértékben nőhet Debreczeniné szerint (1994).

Hatóanyag azonosság elvén beállított kukorica monokultúra tartamkísérlet több mint 40 éves eredményei alapján Berzsenyi és Győrffy (1997b) megállapították, hogy azokban a kezelésekben volt legnagyobb a termés, amelyekben az istállótrágya hatóanyag-tartalmát fele arányban, illetve teljes egészében NPK-műtrágya formájában juttatták ki. Száraz évjáratban az alacsonyabb műtrágyadózisnak volt nagyobb a stabilitása, csapadékos évjáratban pedig, a magasabb műtrágyadózisnak. A kapott eredmények szerint az istálló- és műtrágya együttes alkalmazásának hatékonysága jobb, mint az istállótrágyáé, jól megközelíti, de nem múlja felül a műtrágyáét (Győrffy 1979b).

A N-műtrágyázás hatását a kukorica szemtermésére, biomassza produkciójára, illetve a HI-re többen vizsgálták (pl. Krantz és Chandler 1951, Russel 1984, Thiraporn et al. 1987). Kutatási

eredményeik egybehangzóan igazolják, hogy a N-műtrágyázás hatására a kukorica szemtermése nagyobb arányban nő, mint a növény vegetatív részeinek tömege. Vagyis a kukoricanövény legfontosabb reakciója a N-műtrágyázásra a szemek számának és tömegének növelése, ami a HI javulásában fejeződik ki (Krantz és Chandler 1951).

Précsényi et al. (1976) kukoricahibridek növekedési mutatóit hasonlította össze, és feltárta a növekedési mutatók és az időjárási tényezők összefüggésrendszerét. Az aszály stressz hatására a kukoricanövényeknek rendszerint nem csak a biomassza hozama és a szemtermése, hanem a HI-e is kisebb lesz. Bizonyos körülmények között azonban, a súlyos vízhiány következtében a vegetatív növekedés jelentős csökkenése a HI növekedését eredményezheti.

Pekáry (1969) kísérletei során arra az eredményre jutott, hogy tápanyagban gazdag talajokon a műtrágya csak akkor növeli a termést, ha egyéb időjárási tényezők nagyobb termést tesznek lehetővé. Aszályos évjáratokban a műtrágyázás hatástalan is lehet, sőt termésdepressziót is okozhat. Optimális vízellátás esetén nő a trágyahatás, azonban káros víztöbblet beállta mellett már csökken.

Gyárfás már 1925-ben rámutatott arra, hogy okszerű trágyázással is sokat tehetünk a szárazság kedvezőtlen hatásainak leküzdésére, éspedig nemcsak a szerves trágyának, mint az istálló- és zöldtrágyának, hanem a műtrágyának helyes alkalmazásával is. Szárazgazdálkodásban a leghelyesebbnek azt tartotta, ha a talaj nitrogénkészletét szerves trágyával fokozzák. Száraz viszonyok között ugyanis a műtrágyák közül a nitrogén műtrágyák hatása a legkétesebb (Gyárfás 1925).

Berzsenyi (1993b) megállapította, hogy súlyos szárazság – aszály – esetében a vegetációs időszak első felében a növény jól fejlődik, azonban a vegetációs időszak második felében – a nagy levélterület indexből, valamint a megnövekedtet vízigényből adódóan – súlyos vízhiány lép fel, amely a reprodukciós időszakban tetőződik, s aminek jelentős termésdepresszió lesz a következménye.

3.2. A növekedésanalízis alapelvei

A növénytermesztési kutatásokban egyre határozottabb az a törekvés, hogy a kísérleti kezelések hatását ne csak a végső produktumban tudjuk mérni, hanem eredményesen tudjuk vizsgálni a fotoszintetikus produkció dinamikájában bekövetkezett változásokat is, a növény növekedésének teljes időszakában (Berzsenyi 2000b). Ebből következik, hogy a kultúrnövény növekedésének – mint biomassza produkciónak – és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktoroknak egyik fontos vizsgálati módszere lett a növekedésanalízis.

A növénytermesztési kutatásokban a növekedésanalízis célja, hogy a produkcióbiológiai vizsgálatok eredményeként:

1. pontos adatokat kapjunk arról, hogy milyen mértékben befolyásolják a különböző ökológiai és agronómiai faktorok a kultúrnövény növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikáját,
2. tanulmányozzuk a kultúrnövény – fent említett faktorokra adott – reakcióinak (response) sajátosságait és időbeni változását,
3. meghatározzuk a növekedési jellemzők érzékenységét a vizsgált faktorok változásaira,
4. összehasonlítsuk a különböző fajták, genotípusok növekedésének dinamikáját és
5. tanulmányozzuk a kompetíció hatását a kultúrnövény tőszám-sűrűség kísérletekben és különböző típusú gyom-kultúrnövény kompetíciós kísérletekben.

A növekedésanalízis különösen alkalmas módszer a kukoricanövény növekedésének – mint biomassza produkciónak – és a növekedést befolyásoló ökológiai és agronómiai faktoroknak komparatív, összehasonlító vizsgálatára. A növekedésanalízis és az ökofiziológiai vizsgálatok képezik a gerincét a növénytermesztési kutatások korszerű termesztésfiziológiai irányzatának (Gardner et al. 1985).

A növekedésanalízis általános célja, hogy elősegítse a növény szárazanyag-produkcióban kifejezett növekedésének értelmezését. Növekedésanalízis vizsgálatokkal meg tudjuk magyarázni a különbségeket a növény növekedésében, akár a fajok között azonos környezeti feltételek mellett, akár a fajon belüli különbségeket eltérő környezetben. Az elért növekedést (az összes szárazanyag-akkumulációt) a növekedés időtartama és az átlagos abszolút növekedési ráta határozza meg.

A növekedésanalízis, amely összekötő híd a növényi produkció puszta leírása és a fiziológiai módszereket alkalmazó analízisek között, magába foglalja a növények vagy növényi szervek produkciójának kvantitatív tanulmányozását, integrálva a vizsgált rendszerekben és az ökológiailag vagy agronómiailag értelmezhető intervallumokban (Hunt 1978). A növények növekedésanalízise egy mennyiségi szemlélet, amely a mérési alapadatok felhasználásával írja le és értelmezi a növény növekedési teljesítményét természetes, részben kontrolált és kontrolált körülmények mellett.

Az agronómiai és ökológiai tanulmányok a növekedést két különböző, de komplementáris módon vizsgálják. Az egyik a produkciót hangsúlyozza, és a növekedést az élő biomassza tömegében bekövetkezett időbeni változásnak tekinti. A másik a folyamatokat tekinti fontosnak, és a növekedést az új biomassza egységek vagy -modulok (mint pl. a levél, szár, gyökér) képződése és a régi modulok pusztulása közötti különbségnek tekinti (Berzsenyi 2000a). A növénytermesztésben a növekedést általában szárazanyag-gyarapodásként definiálják, mivel ennek a legnagyobb a gazdasági jelentősége, ezért általánosan használják a növekedés dinamikájának mutatójaként (Berzsenyi et al. 2007). Számos más paramétert is használnak, így a magasságot, a levélterületet, és esetenként a zöld-, vagy nyerstömeget.

3.2.1. A növekedésanalízis története

A növényi növekedés kvantifikálására irányuló legkorábbi dolgozatok a múlt század elején jelentek meg. A növényi növekedésanalízis alapjait Gregory (1918, 1926), Blackman (1919), Briggs et al. (1920a, b), West et al. (1920), Fisher (1921), valamint Watson (1947a, b; 1958) munkássága fektette le.

Blackman (1919) vezette be a szárazanyag produkció efficiencia indexének (R) használatát, és azt feltételezte, hogy az asszimiláció konstans marad hosszabb időn keresztül, amellyel sok kritikát váltott ki. Munkája jelentős előrehaladást jelentett a növekedési adatok matematikai analízisében. A növekedési ráta fontosságát hangsúlyozta, mint a növény száraztömeg-gyarapodását eredményező folyamatok mérőszámát, összegzőjét és integrátorát (Berzsenyi 2000b).

Blackman, Gregory és Briggs módszereivel egyidejűleg más kutatók megkíséreltek egy másik megközelítést a növényi növekedés kvantifikálására. Matematikai függvényt illesztettek a növekedési adatokhoz és azután megvizsgálták az információkat a függvény konstansainak vagy paramétereinek értékeiben. E kísérletek többsége a logisztikus függvényen vagy annak általánosításán alapult. Ez a függvényillesztési módszer azonban, részben a nagyfokú leegyszerűsítés miatt, részben a megfelelő statisztikai elmélet precíz elvégzését lehetővé tevő komputer technika hiánya miatt, hamarosan háttérbe szorult (Berzsenyi 2000b).

A Blackman, Gregory és Briggs et al. által kidolgozott módszereket úgy tervezték, hogy függetlenek legyenek bármilyen specifikus matematikai függvénytől, így ezeknek a módszereknek sokkal nagyobb volt a gyakorlati haszna.

Blackman fő kritikusa West, Briggs és Kidd (1920) volt. Nevükhöz fűződik a „relatív növekedési sebesség” (RGR) mutató bevezetése az efficiencia index helyett.

A növekedésanalízis alapelveinek és klasszikus módszerének legalapvetőbb és legrészletesebb szakirodalma Evans (1972): ”The quantitative analysis of plant growth” c. könyve.

Az 1920-as évek kezdetétől majd’ 50 éven át, nagyon kismértékű fejlődés ment végbe a növekedésanalízis módszertanában, mindössze a növekedésanalízis klasszikus módszerében történtek kisebb módosítások (Williams 1946, Coombe 1960, Evans és Hughes 1962, Watson és Hayashi 1965).

Az 1960-as évek végén a statisztikai elméletek fejlődése és a számítógépek elterjedése tette lehetővé, hogy a növekedésanalízis újra fejlődésnek induljon, nemcsak a módszerekben, hanem a növényvizsgálat minőségében is. Az új módszer előnyeit Radford (1967) és Hunt (1979) adta közre. Ezek a módszerek a matematikai függvények alapadatokhoz való illesztésén és ezeknek a függvényeknek a manipulációján alapultak, hogy így értékeljék többek között a relatív növekedési rátát és a nettó asszimilációs rátát.

Számos fiziológiai és agronómiai kutatás történt ebben az időszakban a növekedésanalízis klasszikus módszere alapján, amelyekről igen részletes és korszerű áttekintést nyújtanak Causton és Venus (1981), illetve Hunt (1982, 1990) munkái. A növekedésanalízis növénytermesztési alkalmazásának alapelveiről, módszereiről és fontosabb eredményiről Gardner et al. (1985) és Hay és Walker (1989) szakkönyveiben találunk átfogó leírást.

A növekedésanalízis csehszlovák iskolája egyrészt a növény fotoszintetikus produkciójának vizsgálatában (Sestak et al. 1971), másrészt a széles körű növénytermesztési alkalmazásban (Petr et al. 1985) ért el kiemelkedő eredményeket. A növekedésanalízist a német szakirodalomban, széles körben alkalmazzák a termésképzés fiziológiájának kutatásában (Geisler 1981, Hay és Walker 1989, Smith és Hamel 1999). A Hunt és munkatársai által a Sheffield-i Egyetemen irányított iskola változatlanul vezető helyet foglal el a növekedésanalízis módszereinek fejlesztésében, a növekedésanalízis botanikai és ökológiai alkalmazása területén.

Az utóbbi évtizedekben eredményes nemzetközi kutatások folynak az irányban, hogy feltárják a növekedési ráta és a produktivitás variációinak okait és megmagyarázzák a növényi növekedés örökletes variációjának fiziológiai mechanizmusait és az ökológiai konzekvenciákat. Kutatási eredményeiket két részletes tanulmányban foglalták össze (Lambers et al. 1989, 1998).

Az 1970-es évekig növekedésanalízist sokkal inkább ökológiai és fiziológiai problémákra alkalmazták, és viszonylag kisebb mértékben használták a kultúrnövények genetikai vizsgálataiban és a növénynemesítésben. Az utóbbi évtizedekben azonban egyre fontosabb szerepet játszik a növényfajok, fajták, beltenyésztett vonalak és hibridjeik, valamint a genotípusok összehasonlításában, gyakran egy nemesítési program részeként. Felhasználták a növekedésanalízist

a termőképesség fenotípusos struktúrájának analíziséhez és az ökotípusos differenciák vizsgálatához is.

A magyar irodalomban ’Sigmond és Floderer (1906) közölte az első részletes kísérleti anyagot a kukorica szárazanyag-felhalmozódásáról. Martonvásáron 1956 óta folynak ilyen jellegű vizsgálatok (Ferencz 1958, Bajai 1959, Mándy 1958, 1962; Szabó és O’sváth 1962, Győrffy 1965). A növekedésanalízis bevezetése a hazai kutatásokba és ökológiai, növénytermesztési alkalmazása Précsényi munkásságához kapcsolódik (Précsényi 1977, 1980; Précsényi et al. 1976).

A növekedésanalízis ökológiai, botanikai és növénytermesztési alkalmazásának széles körű a hazai szakirodalma (pl. Sváb et al. 1968, Virágh 1980a, b; Szabó 1983, 1998; Lap 1992, Berzsenyi 1993a, Ragab 1997). A növekedésanalízis alapelveiről, módszereiről és növénytermesztési alkalmazásáról részletes, korszerű áttekintést a magyar szakirodalomban Berzsenyi (2000a, b; 2002) nyújt. Az elmúlt évtizedben több PhD értekezésben is jelentős szerepet kaptak a növekedésanalízis vizsgálatok (Alföldi 1997, Iványiné 1998, Csikász 1998, Treitz 2004). Ezek a szabadföldi mérések pontos és gyors válaszokat adnak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról és a termésképzéssel való kapcsolatukról (Berzsenyi 2003, 2009).

3.2.2. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszere

A növekedésanalízisben a klasszikus és funkcionális módszerekre való tagolódás az 1960-as években alakult ki. A fenti megnevezéseket Causton (1967) vezette be, Radford (1967) még a „dinamikus” kifejezést használta a „funkcionális” helyett. A legfontosabb eltérés a két módszer között az, hogy a funkcionális megközelítés szükségszerűen magába foglalja a függvényillesztést, míg a klasszikus nem.

Klasszikus megközelítés

A növekedésanalízis régebbi, ún. klasszikus (vagy intervallum-) módszerével a növekedési mutatók (paraméterek) átlagértékeit a mintavételenként meghatározott száraztömeg és levélterület adatokból, két egymást követő mintavétel közötti intervallumra, képletek segítségével számítják ki. A mutatók átlagos értékeinek képleteit a mutatók pillanatnyi értékeinek egyenletéből integrálszámítással vezetik le és osztják a mintavételek közötti idővel.

A klasszikus megközelítésben a növekedést viszonylag nem gyakori (általában 14 naponkénti), sok növényt magában foglaló, gyakran destruktív mintavétellel (a mérések nagy számú ismétlésével) követjük. A növényi növekedésanalízisnek ez a módszere több mint 80 éve

fennmaradt, és a több mint tízezer tudományos publikációban jelent meg (Berzsenyi 1996). A klasszikus módszer történetét, fejlődését és alkalmazását Evans (1972) tárgyalja részletesen.

A különböző növekedési mutatók pillanatnyi értékeinek matematikai definíciói (képletei) rendszerint nem alkalmasak a kísérleti adatok közvetlen behelyettesítésére. Ez az oka annak, hogy a mutatók két-két mintavételi időintervallum közötti, átlagos értékeinek kiszámítására formulákat (ún. munkaképleteket) dolgoztak ki. A növekedési mutatók dinamikájának jellemzésére növekedési függvényeket illesztettek a két mintavétel közötti időszak átlag értékeihez. Megfelelő módszerek állnak rendelkezésre a növekedésanalízis irodalmában (Causton és Venus 1981, Hunt et al. 2002), amelyek alapján a számítások korrekten elvégezhetők.

Funkcionális megközelítés

Az 1960-as évek végén a statisztika fejlődése és a számítógépek elterjedése, nagyarányú fejlődést tett lehetővé a növekedésanalízis módszereiben is. A növekedésanalízis funkcionális módszerét Vernon és Allison (1963), valamint Hughes és Freeman (1967) fejlesztették ki. A növekedésanalízis funkcionális módszere a matematikai modellezés egyik területe. Alkalmazása során matematikai függvényeket illesztünk a primer adatokhoz (tömeg és levélterület) és a kapott növekedési függvényekből differenciál-számítással határozzuk meg a különböző mutatók pillanatnyi értékeit. Legnagyobb előnye az, hogy a pillanatnyi értékek közvetlenül kiszámíthatók az illesztett függvényből, felismerhető pontos összefüggésük más mutatókkal és el vannak látva a primer adatokon alapuló statisztikával. Segítségével képesek a kutatók a mintavételek során felmerülő véletlen és elkerülhetetlen különbségek (mintavételi hibák) enyhítésére.

A megfigyelési adatokhoz illesztett matematikai függvény világosabban visszaadja azt a valóságot, amit a kutató észlelt, ezáltal értékesebb lehet az eredeti megfigyelési adatoknál (Hunt 1982). A funkcionális módszerrel kapott konfidencia-intervallumok kisebbek, mint a klasszikus módszernél, ami elősegíti a növényfajok, -fajták, vagy kísérleti kezelések összehasonlítását. Ennél a módszernél a függvényillesztéshez adatokat szolgáltató mintavételek gyakoribbak, a mérések azonban egy-egy mintavételnél kevesebb növényre terjednek ki.

A módszer továbbfejlesztése és részletes bemutatása Causton, Venus és Hunt nevéhez fűződik. A növekedésanalízis függvényillesztésen alapuló un. „funkcionális” módszerét Hunt (1982): „Plant growth curves” és Causton és Venus (1981): „The biometry of plant growth” könyve ismerteti részletesen.

Richards (1959) függvényét először von Bertalanffy (1941, 1957) által kifejlesztett növekedési függvényből vezette le. A növekedési függvényekről átfogó áttekintést ad O’sváth

(1964), Sváb (1981), Szabó (1983). Növénytermesztési alkalmazása Sváb et al. (1968) és Précsényi et al. (1976) munkáiban található. A publikációk száma e területen néhány százra tehető.

A kétféle megközelítés relatív előnye növekedési mutatónként eltérő lehet. Hunt (1982) megállapította, hogy a NAR és az RGR esetében a függvényanalízis nem egyenlő, hanem jobb a klasszikus módszernél. Ugyanakkor a LAR esetében a függvényillesztés nem növelte a valóság érzékelését a fölé, amelyet a klasszikus módszer eredményezett. Berzsenyi (1993a) munkája is alátámasztja, hogy a Hunt-Parsons program alapján kiszámított pillanatnyi értékek lehetővé teszik a NAR dinamikájának pontosabb értelmezését.

A hasonlóság a két módszer időbeni trendjeiben a következő sorrendben csökken: tömegarányok, területarányok, ráták (Causton és Venus 1981). A klasszikus módszernél a ráták és arányok időbeni trendjét gyakran nehéz értelmezni (Berzsenyi et al. 1998). A legnagyobb előny, amelyet a függvényillesztésből nyerünk, szemben a klasszikus megközelítéssel, a primer adatok „egyenletessé tétele”.

Berzsenyi (2002) szerint fontos hangsúlyozni, hogy a növekedésanalízis két módszere eltérő természetű, ezért rangsort állítani köztük nem lehetséges, s nem zárják ki kölcsönösen egymást. Mindegyik rendelkezik a saját konzekvencia sorozatával, amelyet egymással szemben a kutatónak kell egyensúlyba hozni. A két módszer gyakorlati előfeltételeiről Evans (1972) ad teljes körű áttekintést. A függvényillesztés pozitívumai ellenére is vannak olyan esetek, amikor a függvényillesztés alkalmazásának egyáltalán nincs előnye. A funkcionális növekedésanalízis hátránya az, hogy megfelelő típusú függvényt kell kiválasztani és illeszteni anélkül, hogy az adatokat túl egyszerű függvénybe kényszerítenénk, vagy túl illesztenénk.

3.2.3. A függvényillesztés jelentősége a növekedésanalízisben

Richards (1969) szerint a felhasznált függvényeknél az illesztés pontossága válik elsődleges céllá. A görbe egyenlete összegezi a növekedési adatokat megfelelő módon, ezen kívül a szabálytalan hibákkal terhelt eredeti adatokat egyenletes, folyamatos függvény helyettesíti. A növekedésanalízis során ezeket a matematikai függvényeket használjuk, hogy megkapjuk az adatok számított értékeit, amelyek viszont felhasználhatók a különböző növekedésanalízis mutatók pillanatnyi értékeinek kiszámítására.

Paradox módon, az illesztett függvény értékesebb lehet a kutatónak, mint az eredeti megfigyelési adatok (Hunt 1982). Ugyanis, ha a növekedés mérése a megfigyelések véletlenszerű szórását eredményezi a valóság körül, akkor a megfigyelési adatokhoz illesztett függvény adhatja

vissza a valóságot. A függvényillesztésen alapuló növekedésanalízis előnyeit, Hunt 11 pontban foglalta össze.

Természetesen, ha a függvényillesztés helytelenül történik, akkor a kutató valóság-érzékelése még tovább haladhat a hamis irányban. Ezért alapvető a növekedési függvények illesztésekor azokra az adatokra szorítkozni, amelyekről feltételezzük, hogy csak a véletlen hibának vannak kitéve. Ha a hibák szisztematikusak, akkor az a valóság komoly torzulását eredményezheti.

3.2.4. A növekedési mutatók típusai

A növekedésanalízisben alapvetők a növény tömegének és levélterületének sorozatos mérései, vagyis azok a primer adatok, amelyekből a növekedési mutatók öt típusa számítható ki:

(1) az abszolút növekedési sebességek (ráták)

A változás egyszerű rátái, amelyek magukba foglalnak egy növényi változót és az időt.

(2) a relatív növekedési sebességek (ráták)

Ezek a változás komplexebb rátái, azonban még mindig csak egy növényi változót és az időt foglalják magukba.

(3) az egyszerű arányok

Ezek az arányok két mennyiségi változó közötti arányt foglalnak magukba, amelyek lehetnek hasonló, illetve eltérő mennyiségek közötti arányok.

(4) az összetett növekedési sebességek (ráták)

Ezek a ráták egynél több növényi változó változását foglalják magukban.

(5) az integrál (ún. tartósság) mutatók (Hunt 1982).

A komplett növekedésanalízis magába foglalja mind a növényegyedek, mind pedig a növényállományok vizsgálatát, tehát a mutatók e két csoportja nem határolódik el mereven egymástól. A növényegyedek növekedésének analízise, amelyet általában a korai stádiumban végzünk, a következő mutatókat foglalja magában:

(1) abszolút növekedési sebesség (AGR, ALGR),

(2) relatív növekedési sebesség (RGR, RLGR),

(3) nettó asszimilációs ráta (NAR),

(4) levélterület arány (LAR),

(5) specifikus levélterület (SLA),

(6) levéltömeg arány (LWR).

A növénytermesztők általában a növényállomány növekedését analizálják, mivel ez reprezentálja a hasznos termés akkumulációját. A növényállomány növekedésanalízisének mutatóihoz tartoznak az alábbiak:

(7) levélterület index (LAI),
(8) termésnövekedési sebesség (CGR),
(9) nettó asszimilációs ráta (NAR),
(10) levélterület-tartósság (LAD),
(11) biomassza-tartósság (BMD),
(12) harvest index (HI).

3.2.5. Mérési és mintavételi módszerek a növekedésanalízisben

A növekedés becslésének módszerei az egymás utáni (szekvenciális) destruktív mintavételen alapulnak. A kísérleti módszerek közel egy évszázados agronómiai és ökológiai vizsgálatok alapján fejlődtek ki, s Evans (1972): „The quantitative analysis of plant growth” c. könyve tárgyalja részletesen. A növény tömegének mérése egy destruktív eljárás, amely a növényegyed elpusztításával jár az első mérési folyamatban. E probléma megoldásának két módja lehetséges: (1) ha a populáció egyedei elég hasonlóak méretben és növekedési sebességben, akkor a populációt jellemző növekedési mutatókat kiszámíthatjuk a véletlenszerűen kiválasztott növények egymás utáni mintavételeiből; (2) vagy kifejleszthetjük a biomassza mérésének nem destruktív módszerét és a módszert időben megismételve, alkalmazhatjuk az individuális növényekre.

Az indirekt mérési módszerek lehetővé teszik, hogy ugyanazokon az individuális növényeken végezzük a méréseket a különböző időpontokban, ezáltal elkerülhetőek az olyan destruktív mintavétellel összefüggő hibák, mint pl., esetenként extrém egyedek kiválasztása. Azonban abból a célból, hogy az indirekt méréseket viszonyítani tudjuk a tradicionális növekedésanalízis primer változóihoz, néhány destruktív mintavétel is szükséges.

Ez a két megközelítés – a destruktív és nem destruktív (vagy indirekt) – képezi a fő kettősséget a biomassza mérésének módszereiben. Történelmileg a klasszikus növekedésanalízis az egymás utáni mintavételeken alapul, azonban használhat indirekt módszereket is a tömeg és a levélterület mérésére. A növekedésanalízis ideális adatbázisa magába foglalja a nagy mennyiségű növénymintát és a gyakori mintavételt is. Rendszerint azonban egymásnak ellentmondó célok vannak (idő, tér, munkaerő stb. miatt) és meg kell találni a kettő közötti kompromisszumot (Berzsenyi 2000b).

3.2.6. A növekedésanalízis növénytermesztési alkalmazása

A növekedésanalízis legnyilvánvalóbb alkalmazása a környezeti feltételek hatásának meghatározása a növényfajok vagy genotípusok teljesítményére. Az ilyen típusú vizsgálatokhoz rendszerint alkalmas a klasszikus módszer, bizonyos esetekben azonban a függvényillesztés (a funkcionális módszer) a megfelelőbb.

Többen vizsgálták a talajtermékenység, valamint a műtrágyák hatását a kukorica növekedésére, nettó asszimilációs rátájára (Hanway 1962, Arnon 1975, Thiraporn et al. 1987). A szakirodalom nem egységes a tápanyagellátottság és a NAR összefüggésének megítélésében (Berzsenyi 1993c). Hanway (1962) vizsgálatai azt mutatták, hogy a NAR-t csak kismértékben befolyásolja a kukoricanövény tápanyag-ellátottsága. Watson (1958) arra a következtetésre jutott, hogy a nitrogén fő hatása a növekedésre sokkal inkább a levélterületen, mint a NAR-on keresztül érvényesül.

Wolfe et al. (1988) vizsgálatai kimutatták, hogy a kukorica levélterülete a műtrágyázás és öntözés nélküli kezelésben volt a legkisebb, ugyanakkor a legnagyobb levélszáradást a szemtelítődés időszakában a trágyázott és öntözés nélküli kezelésben mérték.

Martonvásáron a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerével tanulmányozzák a N-műtrágyázás hatását eltérő genotípusú kukorica hibrid növekedésére és növekedési jellemzőinek dinamikájára, tartamkísérletben. Eredményeik alapján Berzsenyi (2009) megállapította, hogy a kukorica szemtermésének meghatározásában elsősorban az AGR, a LAI_{max}, az ALGR és a HI mutatók jelentősek.

Alföldi (1997) megállapítása szerint, a növekedés és terméskép ezés egyik legfontosabb feltétele a hatékony fotoszintézisre képes levélfelület kialakítása. Alföldi és Csikász (2000) szemes- és silókukorica hibrideknél vizsgálta az eltérő N-műtrágya reakciót a növekedésanalízis funkcionális módszerével. Különbséget a kukoricaszem szárazanyag tömegének gyarapodásában (az AGR_{szem} értékben), a szemtelítődés utolsó szakaszában tudtak kimutatni.

Csikász et al. (2002) szintén a növekedésanalízis funkcionális módszerét alkalmazta, a napraforgó kaszattermését befolyásoló genetikai hatások vizsgálatában, szántóföldi körülmények között. Meghatározták az AGR_{avg}, AGR_{max} és az RGR_{avg} mutatók értékét, és a legszorosabb összefüggést a maximális kaszattermés értéke és az AGR_{max} értékek között mérték.

A nővirágzáskor mért nagyobb LAI érték nagyobb PAR abszorpciót és szárazanyag-akkumulációt eredményez a vegetatív növekedés során (Tollenaar és Aguilera 1992).

Berzsenyi (2000b) szerint a szemtermés termésnövekedési rátájának (CGR) ismerete különösen fontos. A $CGR_{termés}$ és a $CGR_{összes}$ aránya fontos mutató, amely kifejezi az asszimiláták

hasznos termésssé történő átalakításának hatékonyságát. Kukorica kísérletek eredményei alapján Berzsenyi (1996) állapította meg, hogy a növekedésanalízis mutatói közül a N-hiány stressz mérésére a levélterület-index (LAI) mellett elsősorban a termésnövekedés sebessége (CGR) alkalmas. A C_3-as típusú növényeknél a 20 g m^{-2} nap^{-1}, míg a C_4-es típusú növényeknél 30 g m^{-2} nap^{-1} CGR értéket tartja elfogadhatónak. Gardner et al. (1985) a maximális napi száraztömeg növekedést 77 g m^{-2} nap^{-1}-re becsüli. Az újabb hibrideknek nagyobb növényszámnál nagyobb a termésnövekedési rátájuk (CGR) a nővirágzást megelőző egy héttől az azt követő három hétig, amely hozzájárul a növényenként nagyobb szemszámhoz és a nagyobb szemterméshez (Otegui és Andrade 2000).

DeLoughery és Crookston (1979) kutatásai igazolták, hogy a kukorica harvest indexe – a szemtermesztéshez hasonlóan – érzékeny az agronómiai és a környezeti hatásokra, különösen a N-műtrágyázásra, a növényszámra és a vízellátottságra. Menyhért (1985) 1977 óta vizsgálta a HI fajtától, növényszámtól és vetésidőtől függő változását. Megállapította, hogy a HI nagymértékben a genotípus függvénye, azonban a rövidebb tenyészidejű hibrideknek és korai vetésidőben a kukoricahibrideknek nagyobb a HI-e.

Győrffy (1965) kutatási igazolják, hogy a kukoricahibridek előnye a szabadelvirágzású fajtákkal szemben egyrészt a nagyobb szárazanyag-produkció, másrészt a nagyobb HI. Vizsgálatai szerint a szem szárazanyag aránya az összes szárazanyaghoz viszonyítva az Mv hibridekben 45,8 %, míg a szabadelvirágzású fajtákban 36,4 % volt. Több kutató (pl. Singh és Stoskopf 1971) hangsúlyozta, hogy a HI ismerete kiemelkedően fontos a termőképesség előrejelzésekor, az érésidőre, a növénymagasságra és a magas tőállománnyal szembeni toleranciára nemesítéskor, valamint a genotípusok bírálatánál (szemes- és silókukorica hibridek hasznosíthatóság szerinti elkülönítésekor). Menyhért (1985) rámutatott arra, hogy a HI növelésének egyik leghatékonyabb eszköze a prolific (két vagy több csöves) kukoricahibridek nemesítése.

A súlyos vízhiány, különösen a kritikus növekedési stádiumban (virágzáskor), nagymértékben csökkenti a szemtermést és a HI-t. A vízellátottság időbeni megoszlása (pl. a virágzás után rendelkezésre álló víz mennyisége) ugyancsak nagy hatást gyakorol a HI-re (Hanway és Russell 1969, Adelana és Milbourn 1972). A kukorica szemtermésének és biomassza akkumulációjának relatív érzékenységét a vízhiányra Sinclair et al. (1990) vizsgálta. Voldeng és Blackman (1975) írták le, hogy a kukorica növényszámának növelésekor a HI rendszerint már a vizsgált legalacsonyabb növényszámtól kezdődően csökken, különösen akkor, ha a növényszám a maximális szemtermést eredményező sűrítési optimumot meghaladja.

3.2.8. A növekedésanalízis kapcsolata más tudományterületekkel

A növekedésanalízis speciális növénytermesztési és növényvédelmi alkalmazásai magukba foglalják a növekedés interakcióit a növényi táplálkozással és a környezettel (Porter és Lawlor 1991), illetve a kultúrnövény-gyomnövény interakciók modellezését (Kropff és Laar 1993).

A növekedésanalízis csak egyike azoknak a módszereknek, amelyek a növényi növekedést az idő viszonyában tanulmányozzák. A növekedésanalízis egyik fő alternatívája a demográfiai analízis. A demográfiai növekedésanalízis a növényi populációbiológia egyik oldalága, és azokat a klasszikus elveket használja, amelyeket Harper (1968) és White (1979) vezetett be újból a növényökológiába. A szerv és az egyed szintjén a növényökológiában Bazzaz és Harper (1977) alkalmazta először a demográfiai analízist.

A növény fotoszintetikus produkciójának vizsgálata feltárja a növény és környezet összefüggését a levél, a levélszegment és a kloroplasztisz szintjén. Ennek tanulmányozására alkalmas különböző módszereket Sesták et al. (1971) tekintette át. Az alkalmazott modellek lehetnek viszonylag egyszerűbbek, tíznél kevesebb paraméterrel (pl. Charles-Edwards és Fisher 1982) és nagyon részletesek is (Wann et al. 1978). Causton és Venus (1981), Richards függvénnyel jellemezték a levél növekedését, és kidolgozták az egész növény növekedését leíró modellt.

A terméskomponens-analízis felbontja a növekedést a morfológiai vagy fejlődési komponensek szorzatára, és több olyan paramétert használ, amely azonos a növekedésanalízisével.

A növekedési jellemzők felhasználhatók a különböző típusú növénytársulások (természetes és mezőgazdasági) produktivitásának összehasonlítására is. A herbológiai kutatásokban a növekedésanalízis alkalmazásának fontosabb területei a vízért és nitrogénért folytatott kultúrnövény-gyomnövény kompetíció ökofiziológiai analízise, a gyomnövényfajok ökofiziológiai jellemzése, valamint a herbicid-kezelések és más gyomszabályozási eljárások gyomnövényekre és kultúrnövényekre gyakorolt hatásának jellemzése.

Berzsenyi et al. (2009) véleménye szerint kizárólag vegyszeres tartamkísérletekben van mód arra, hogy megállapítsuk egyes herbicideknek a gyompopulációk dinamikájára gyakorolt hatását, valamint, hogy nyomon kövessük a flóraátalakulások folyamatát. Az 1964-ben, hét herbicid-, és két talajművelési kezeléssel beállított martonvásári herbicid tartamkísérlet, ami hazai viszonylatban egyedülálló volt, egészen az 1990-es évek közepéig folyamatosan fennmaradt.

A növekedésanalízis gyombiológiai alkalmazásáról Berzsenyi (2006), Gazdagné (1998), Kazinczi (2000), Pozsgai (1982) és Varga (2002) munkáiban találunk részletes leírást.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

4.1. A martonvásári trágyázási tartamkísérlet jellemzése

Monokultúra tartamkísérletben vizsgáltuk az istállótrágya és a műtrágya kezelések hatását a kukorica szárazanyag-produkciójára és növekedési jellemzőire 2005-2007. években. A szabadföldi kisparcellás tartamkísérletet 1958-ban állította be Győrffy Béla Martonvásáron, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet agrotechnikai kísérleti területén.

4.1.1. A tartamkísérlet kezelései

A kísérlet az alábbi 7 kezelést tartalmazza: (1.) Kontroll; (2.) 35 t ha^{-1} istállótrágya; (3.) 17,5 t ha^{-1} istállótrágya + $N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$ műtrágya; (4.) $N_1P_1K_1$ műtrágya; (5.) 70 t ha^{-1} istállótrágya; (6.) 35 t ha^{-1} istállótrágya + $N_1P_1K_1$ műtrágya; (7.) $N_2P_2K_2$ műtrágya. A továbbiakban: 1., 2., 3., 4., 5., 6. és 7. kezelés. A kísérlet kezeléseit, valamint azok hatóanyag-tartalmát a *4.1. táblázat* mutatja be.

4.1. táblázat. A trágyázási kísérlet kezelései és a kijuttatott hatóanyag mennyiségek. Martonvásár, 2005-2007

Kezelés	**Trágyakezelések**	**Kijuttatott hatóanyag (kg ha^{-1} $év^{-1}$)**		
		N	P_2O_5	K_2O
1.	Kontroll	–	–	–
2.	35 t ha^{-1} istállótrágya	66	38	75
3.	17,5 t ha^{-1} istállótrágya + $N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$ műtrágya	66	38	75
4.	$N_1P_1K_1$ műtrágya	66	38	75
5.	70 t ha^{-1} istállótrágya	132	76	150
6.	35 t ha^{-1} istállótrágya + $N_1P_1K_1$ műtrágya	132	76	150
7.	$N_2P_2K_2$ műtrágya	132	76	150

A kontroll parcellák 1958 óta trágyázatlanok. Az évenként kijuttatott hatóanyag mennyisége a 2-4. kezelésben: N 66 kg ha^{-1}, P_2O_5 38 kg ha^{-1}, K_2O 75 kg ha^{-1}; az 5-7. kezelésben: N 132 kg ha^{-1}, P_2O_5 76 kg ha^{-1}, K_2O 150 kg ha^{-1}. A kijuttatott NPK tápelemek mennyiségét az istállótrágya hatóanyag-tartalmának elemzése alapján állapították meg. Az istállótrágyát (almos szarvasmarha

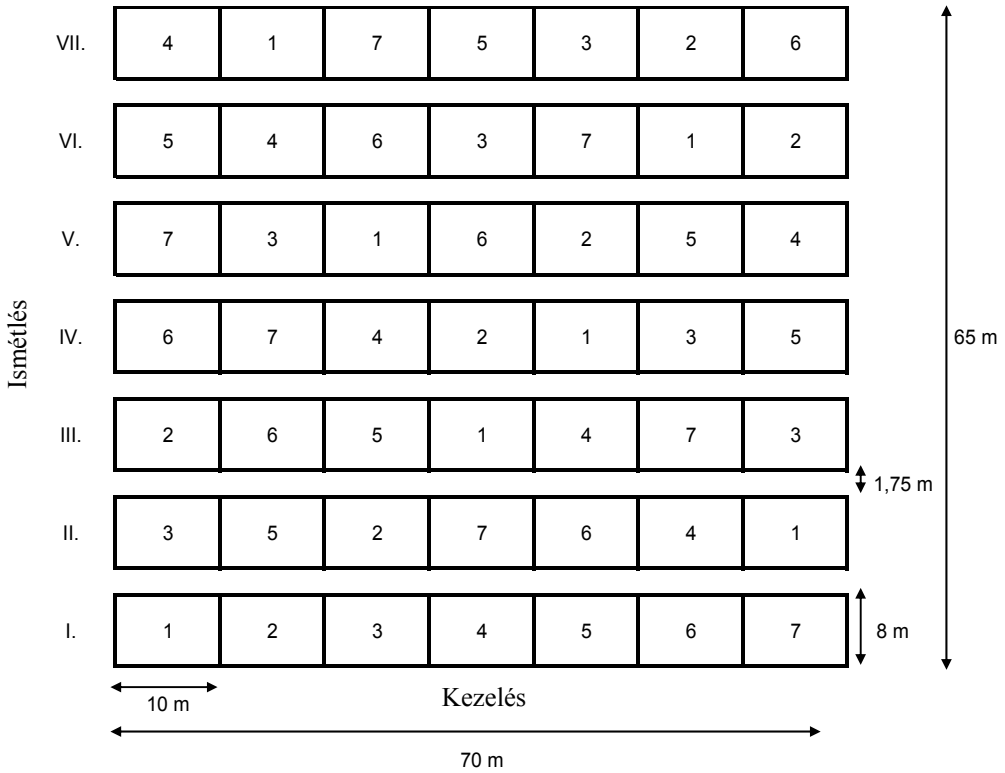
trágya), a P-műtrágyát (18 %-os Szuperfoszfát formájában), és a K-műtrágyát (40 %-os Kálisó formájában), 4 évente az őszi mélyszántás előtt juttattuk ki, a kísérlet évei alatt 2006-ban. A N-műtrágyát tavasszal, a vetőágy előkészítését megelőzően, 4 évre egyenletesen elosztva adagoltuk, 34 %-os ammónium-nitrát formájában.

A talajlakó kártevők és a kukoricabogár lárvája ellen ősszel talajfertőtlenítéssel, a rajzó imágók ellen állományban, virágzáskor védekeztünk, aminek köszönhetően kártételük nem volt jelentős.

A gyomnövények ellen preemergens és postemergens herbicideket használtunk minden évben.

4.1.2. A tartamkísérlet elrendezése

A trágyázási tartamkísérlet szerkezetét a *4.1. ábra* mutatja be. A kísérletet 7 ismétlésben, latin-négyzet elrendezésben állították be, a parcellák mérete: 8×10 m = 80 m^2, a kísérlet területe 4550 m^2.



4.1. ábra. A trágyázási tartamkísérlet szerkezete

A vizsgált három évben a vetés, kelés és betakarítás időpontja a következőképpen alakult:

2005 - vetés: április 30;	kelés: május 9;	betakarítás: október 18
2006 - vetés: április 22;	kelés: április 30;	betakarítás: október 18
2007 - vetés: április 17;	kelés: április 25;	betakarítás: október 5

A kísérletbe Norma SC kétvonalas, FAO 380-as tenyészidejű kiváló szárazságtűrésű, korai érésű, martonvásári lófogú hibridkukoricát vetettünk, Wintersteiger TC2700-as percellavető-géppel, 70 cm-es sor- és 20 cm-es tőtávolságra (tenyészterület: 0,14 m^2, vetési sűrűség: 70.000 tő ha^{-1}). A hibrid leírása a *4. mellékletben* olvasható (*1. A, B és 2. A, B képek*).

4.1.3. A tartamkísérlet talajviszonyai

A kísérleti terület földrajzilag az Alföld nagytájának Dunántúlra eső Mezőföld tájában helyezkedik el, annak az Érd-battai – Ercsi táblarög résztáblájának, egy viszonylag kis süllyedékterületi peremén (Szücs 1963). A kísérleti terület mély termőrétegű, erdőmaradványos csernozjom talajú. Az Arany-féle kötöttségi száma és a szemcseösszetétele alapján, a fizikai talajfélesége vályog (Stefanovits 1981). A termőréteg vastagsága 25-60 cm, a lejtésszázalék kb. 0,5 %. A kísérlet helye nem tartozik a jó vízgazdálkodású területek közé, magas fekvése miatt részben erodált.

A trágyázási kezelések 30 éves tartamhatását (vizsgálati év: 1991) a fontosabb talajtulajdonságokra a *4.2. táblázat* tartalmazza. A termőréteg szerves C-tartalma (humusztartalma) 2,8 - 3,2 %. Megállapítható, hogy a humusztartalom szignifikánsan nagyobb az istállótrágyázásban részesült parcellákon (2. és 5. kezelés), összehasonlítva a kezeletlen kontrollal. A négyévenként 70 t ha^{-1} istállótrágyázásban részesült parcellákon szignifikánsan nagyobb volt a humusztartalom, mint az azonos hatóanyag-tartalmú NPK-műtrágya kijuttatásakor.

4.2. táblázat. A trágyázási kezelések 30 éves tartamhatása a legfontosabb talajtulajdonságokra kukorica monokultúrában, a talaj 0-20 cm-es rétegében. Martonvásár, 1991. (Berzsenyi és Győrffy 1997b)

Kezelések	Humusztartalom [%]	pH-érték (KCl)	Összes N [mg kg^{-1}]	AL-P_2O_5 [mg 100 g^{-1}]	AL-K_2O [mg 100 g^{-1}]
1	2,820 c	6,08 a	1672 b	3,24 c	21,76 c
2	3,080 ab	6,23 a	1776 ab	6,73 b	28,10 bc
3	2,920 bc	6,16 a	1691 b	5,60 bc	26,83 c
4	2,910 bc	5,85 a	1768 ab	6,90 b	25,09 c
5	3,227 a	6,18 a	1859 a	11,67 a	34,13 ab
6	3,030 abc	6,11 a	1784 ab	12,07 a	36,43 a
7	2,920 bc	5,42 a	1682 b	12,53 a	38,01 a

Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A kísérleti terület talajának pH-ja enyhén savanyú és a kémhatás értékére nem volt szignifikáns hatása a kezeléseknek ($SzD_{5\%}$= 0,813), azonban megfigyelhető, hogy az NPK-műtrágyázásban részesült kezelésekben következetesen kisebb volt a pH értéke. A talaj összes N-

tartalma 30 év után legnagyobb a 70 t ha^{-1} istállótrágya négyévenkénti kijuttatásakor volt, a többi kezelés N-tartalma szignifikánsan nem különbözött. A kísérlet talaja könnyen oldható foszforral és káliummal jól ellátott, a P_2O_5- és K_2O-tartalma szignifikánsan nagyobb volt a magasabb szintű trágyázásnál (5-7. kezelések).

4.1.4. A vizsgált évek klimatikus adatai

A terület időjárását a többi dunántúli tájhoz hasonlóan, a több napsütés, a nagyobb hőmérséklet-ingadozás, a kevesebb nedvességtartalom, a viszonylagos csapadékszegénység, és a nyári időszakban az aszályra való hajlam jellemzi (Árendás 1998). A vizsgált három év meteorológiai adatait a kísérleti területtől néhány száz méteres távolságban elhelyezkedő meteorológiai állomás szolgáltatta. Az alapvető klímajellemzőket, valamint a 30 éves átlag értékeket, a *2. és 3. mellékletben* foglaltuk össze.

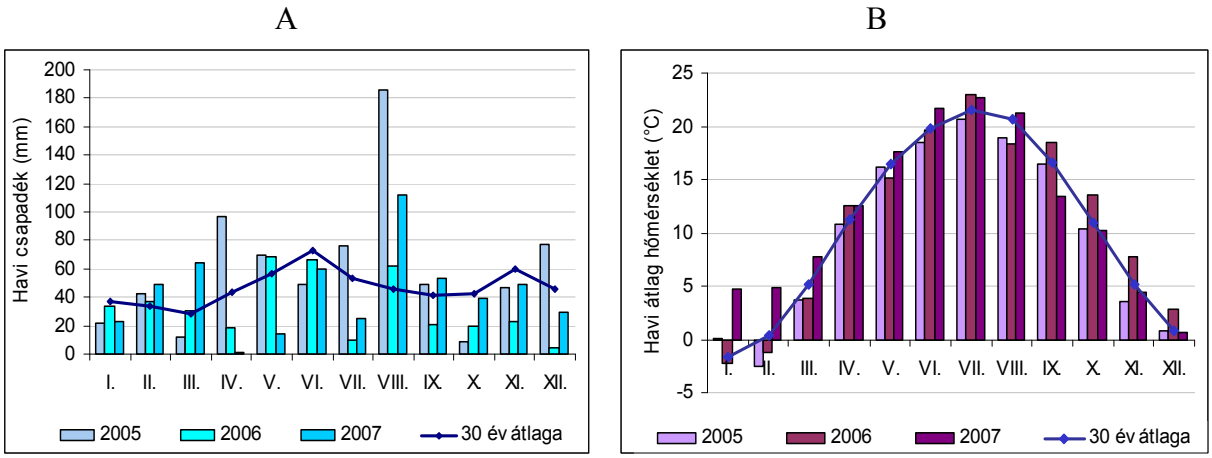
A vizsgált három év csapadék és hőmérsékleti adatai rendkívül nagy eltéréseket mutatnak egymáshoz és a 30 éves átlaghoz képest is (*4.2.A és 4.2.B ábrák*). 2005-ben igen kedvezően alakult az időjárás a kukorica számára mind a csapadék, mind a hőmérséklet tekintetében a vetés körüli időszakban, ami elősegítette az ideális kelést. Kiemelkedően nagy mennyiségű csapadék hullott augusztusban, a 30 éves átlag négyszerese (186 mm). A havi átlag hőmérsékleti adatok a tenyészidő során végig a 30 éves átlag alatt maradtak (0,1 - 1,9 °C-kal). A bőséges csapadékellátás és a kedvező hőmérsékleti viszonyok optimális körülményeket teremtettek, mind a virágzás-megtermékenyülés, mind a szemtelítődés folyamata számára. 2005-ben 23 hőségnapot regisztráltunk, május és szeptember hónapok között.

2006-ban a vetés körüli időszakban és szeptemberben is a szokásos csapadékmennyiségnek csak a fele hullott, júliusban pedig csupán az ötöde. A csapadékhiányhoz, a 30 éves átlagnál kissé magasabb hőmérséklet is társult a vegetációs időszakban, ami terméscsökkenést idézett elő (10 - 30 %, a 2005-ös évhez képest). 2006-ban 40 hőségnap volt, amely a három nyári hónapra korlátozódott. A 2006-os év a 30 éves átlaghoz képest csapadékszegény év volt, 66 mm csapadék hiánnyal a vegetációs idő során, összességében mégis átlagos évnek tekinthető a kukoricatermesztés szempontjából.

A 2007-es év szélsőséges időjárású év volt. A vetés és kezdeti fejlődés szempontjából meghatározó áprilisi csapadék rendkívül kevés volt, a 30 éves átlag 10 % -a. A májusi, júniusi megfelelő mennyiségű csapadék után, a július, augusztus aszályos volt, csak augusztus legvégén hullott újra csapadék. A hőmérsékletet tekintve 2007 nyara rendkívül forró volt, s minden hónap átlaghőmérséklete 2 °C -kal haladta meg a sokéves átlagot, ami rendkívül rossz termékenyülést és

igen nagymértékű terméskiesést eredményezett (60 - 85 % a 2005 -ös évhez képest). Ebben az évben 58 hőségnapot regisztráltunk.

A vegetációs időszakban (IV. - IX. hónap) hullott csapadék mennyisége a vizsgált években a következőképpen alakult: 2005-ben 526 mm, 2006-ban 246 mm, 2007-ben 265 mm. Az évi középhőmérséklet 2005-ben 9,8 °C, 2006-ban 11,0 °C, 2007-ben 12,8 °C volt.



4.2. ábra. A: A vizsgált évek havi csapadékeloszlása és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007), *B:* A vizsgált évek havi átlaghőmérséklete és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007)

4.2. A kísérleti kutatómunka ismertetése

4.2.1. A mintavételek időpontja és módja

A vizsgálatokat a növekedésanalízis destruktív (direkt) és indirekt módszereivel végeztük. A mintavételek időpontját a fenológiai stádiumokkal összhangban igyekeztünk megállapítani. A mintavételt a kukoricanövények 4 leveles fejlettségi állapotában kezdtük meg, a vetéstől számított 22-37. napon (évjárattól függően), és a címer és nővirágzáson át, a fiziológiai érésig folytatjuk. 2005 és 2006-ban 10 mintavétel történt, 2007-ban 9 alkalommal, átlagosan 14 napos intervallumokban, mind a hét kezelésből, négy ismétlésben. A kukoricanövényeket a különböző fenológiai stádiumokban az *5. melléklet 3. A-F képei* mutatják.

A destruktív vizsgálatok során mintavételenként és parcellánként, 3 kukoricanövényt vágunk ki a talaj felszínénél a gyökérnyak felett. A talajfelszín feletti léggyökereket, az esetleges talajszennyeződésekkel együtt, eltávolítottuk a szárról. Mintavételenként 84 növénymintát dolgoztunk fel a részletes növekedésanalízis vizsgálatokhoz.

4.2.2. A növényminták analizálása

A növényeket egyedenként analizáltuk, és a következő részekre osztottunk fel: zöld levéllemez, szár a levélhüvellyel, címer, csuhélevelek, csőszár, csutka és szemtermés (*5. melléklet, 4. kép*). A növényi szervekre bontásnál a szervek működési kritériumát vettük alapelvként, nem a morfológiai kritériumot. Meghatároztuk a mintanövények levélszámát (a már fotoszintetizáló levelek számát), alapjuknál levágtuk őket a szárról, majd a lehető legrövidebb időn belül mértük a nedves tömegét. A növények fotoszintetizáló levélterületét ezt követően laboratóriumi automatikus planiméterrel mértük. A levelek leválasztása után mértük a szár hosszát, valamint átmérőjét a legalsó nódusznál, a cső alatti nódusznál és a legfelső nódusznál (a címer alatt). A címert és a csövet levágtuk a szárról, a csövet részeire bontottuk és külön mértük a nyerstömegüket. A szárat a nóduszok között feldaraboltuk, a minél optimálisabb száradás érdekében. A szeparált növényi részeket felcímkézett papírzacskókba tettük és 48-72 órán át, 105 °C-on szárítottuk száraztömegük meghatározása céljából. Célunk volt a növényi minták minél gyorsabb feldolgozása és szárítása, a respirációs veszteség minimálisra csökkentése érdekében. A legtöbb növényi szövet respirációs rátája közel megduplázódik minden 10 °C hőmérséklet-emelkedésnél, egészen 40-50 °C-ig, ezáltal a lassú szárítás tekintélyes légzési veszteséget okoz (Berzsenyi 2000b).

Indirekt módszerekkel, a virágzás utáni stádiumban, növényállományban mértük a kukorica növények összes levélterületét és a cső melletti levél területét, valamint a cső melletti levél klorofill-tartalmát. Berzsenyi (2000b) szerint az indirekt módszerek gyakran hasznosabbak abból a szempontból, hogy a mintavételi hibát a minimumra csökkentsük.

A szemtelítődés időszakában mértük a kukorica növények levelének N-tartalmát. Betakarítás után meghatároztuk a szemtermés mennyiségét, a szem nyersfehérje-, olaj- és keményítő tartalmát, és a terméskomponenseket (ezerszemtömeg, csövenkénti szemszám).

A begyűjtött növényi minták analizálásának teljes folyamata az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet Növénytermesztési Osztályának laboratóriumában történt.

4.2.3. Ökofiziológiai mérések, vizsgálatok és a használt műszerek

Szárazanyag mérés

A növényi részek szárítása MEMMERT ULE/800-as típusú szárítószekrényekben történt (*5. melléklet, 5. kép*). A feldarabolt növényi részeket, megfelelő méretű talpas papírzacskókban tettük a szárítószekrények polcaira, elegendő helyet hagyva közöttük, a ventillációs levegő megfelelő áramlásához. A szárítás 105 °C-on történt, a növényi részek száraztömegének eléréséig.

Levélterület mérés

A levélterület direkt mérése laboratóriumban ADC AM300, illetve LI-COR LI-3100A típusú asztali levélterület-mérővel történt, négy ismétlésben. Mindkét műszer igen precíz mérést tesz lehetővé (*5. melléklet, 6. A, B képek*). Az ADC AM300 típusú levélterület-mérő műszerrel a kukorica 5-6 leveles állapotáig tudjuk mérni a levelek területét, mm^2-ben. A kisméretű leveleket a mérőfelületre helyezzük, a fóliával lenyomjuk, majd a görgethető mérőfej „letapogatja" a leveleket. A LI-COR LI-3100A típusú levélterület-mérő műszerrel már nagy méretű leveleket is tudunk mérni. A kukorica leveleket a szállítószalagok közé helyezzük be, amelyek mozgás közben kisimítják azt, és az általuk vetett árnyékot méri a műszer kamerája, cm^2-ben.

Növényállományban LI-COR LI-3000A típusú hordozható levélterület-mérővel, indirekt módszerrel mértük a maximális levélterületet és a cső melletti levél területét, hét ismétlésben. A mérőfej két szára közé az alapjuknál illesztjük be a leveleket, majd rögzítjük a mérőzsinórt a szár mellett és így húzzuk végig a mérőfejet a levélen. A műszer a mért levélhosszból, szélességből és maximális szélességből kalkulálja ki a levélterületet.

Levél klorofill-tartalmának mérése

Minolta SPAD 502 típusú hordozható klorofill-mérővel a szemtelítődés időszakában, mind a hét ismétlésben mértük a levelek klorofill-tartalmát (*5. melléklet, 7. kép*). Schepers et al. (1992) eredményei alapján ekkor a legalkalmasabb a SPAD klorofill-mérő műszer a kukorica levél klorofill-koncentrációjának és a növény N-ellátottságának becslésére. Berzsenyi és Lap (2004) is kimutatta a SPAD értékek szignifikáns változását, a különböző trágyázási kezelések hatására. A mérés parcellánként tíz cső melletti levélen történt, a levelek alapi részénél.

Levél N-tartalmának mérése

A növény teljes levélzetének N-tartalom meghatározását Kjeldahl-módszerrel végeztük, FIASTAR 5000 típusú, áramlásos-injektálásos analitikai módszer alapján működő UV-VIS spektrofotométerrel (*5. melléklet, 8. kép*), négy ismétlésben.

A szárított levélmintákat Retsch Mill ZM 200-as típusú Ultra Cenrtifugális laboratóriumi malmon daráltuk le, 1 mm-es lyuknagyságú szitát alkalmazva (*5. melléklet, 10. A kép*). A mintákat 440°C-on 1 óráig roncsoltuk, FOSS Digestor 2020 típusú roncsoló blokkban (*5. melléklet, 9. kép*). A roncsoló csőbe 1 g szárított, darált levélmintát mértünk be N-mentes papírral és 1 db Cu-Kjel katalizátor tablettát és 14 ml kénsavat adtunk hozzá. Az elroncsolt és kihűlt mintához kb. 80 ml/cső desztillált vizet adtunk és egy napig állni hagytuk a teljes feloldódás érdekében. Utána 619G szűrőpapíron szűrtük át és 100 ml-re töltöttük fel.

A minták mérésére FIASTAR 5000 Analyzer Teljes Kjeldahl-Nitrogén (TKN) metód kazettáját alkalmaztuk. A műszer a minta teljes nitrogén-tartalmát határozza meg, ami a szerves formában kötött nitrogén (szerves N) és az ammónium nitrogén (NH_4-N) mennyiségének a mértéke. Az így kapott nitrogéntartalmat a megfelelő szorzótényezővel megszorozva (ami kukorica esetében 6,25) kapjuk meg a nyersfehérje tartalmat. A rendszert Windows alatt futó szoftver vezérli, a kiértékelés is ennek segítségével történik.

Szemtermés beltartalmának mérése betakarítás után

A légszáraz kukoricaszem mintákból vett kb. 100 g-nyi mintát 0,8 mm-es szitával felszerelt Perten 3100-as típusú labormalom segítségével őröltük lisztté (*5. melléklet, 10. B kép*). A szem nyersfehérje-, olaj- és keményítő tartalmának mérése darálás után, Perten INFRAMATIC 8600, közeli infrafény visszaverődése alapján működő (NIR) analizáló készülékkel történt (*5. melléklet, 11. A kép*), négy ismétlésben. A mérés előnye, hogy nincs szükség vegyszerekre, precíz súlymérésre, ezért biztonságos, egyszerű és gyors. Minden lisztmintából két párhuzamos mérést végeztünk és a mérések átlagát vettük.

Szemtermés és terméskomponensek meghatározása

Mind a hét ismétlésből parcellánként öt mintacső adatai alapján mértük a terméskomponensek (csövenkénti szemszám, ezerszemtömeg) trágyakezelésektől függő változását. Morzsolás után a számláláshoz Pfeuffer Contador típusú magszámláló berendezést használtunk (*5. melléklet, 11. B kép*). Az ezerszemtömeg meghatározásához 2×500 db szemet számoltunk és mértünk le, majd összeadtuk a tömegüket.

A betakarítás Bourgoin parcellabetakarító géppel történt, a betakarított szemtermés mennyiségét 15 %-os nedvességtartalomra számítva adtuk meg, hét ismétlésben.

4.3. A növekedési mutatók

Meghatározhatjuk a növekedési mutatók pillanatnyi értékét, vagyis nagyságukat egyetlen időpontban, továbbá átlagértékeiket egy adott időintervallumban, amiről az *4.3. táblázat* nyújt áttekintést.

4.3.1. A növekedési mutatók leírása és kiszámításuk módszerei

Minden növekedési mutatót jellemezhetünk szezondinamikával, átlagos, maximális és pillanatnyi értékekkel. A következő alfejezetben röviden bemutatjuk a növekedési mutatókat, azok növénytermesztési és ökológiai jelentőségét, valamint a kiszámításuk módszereit.

4.3. táblázat. Formulák a különböző típusú mutatók pillanatnyi és átlagos értékének meghatározására Berzsenyi (2002) alapján

A mutató típusa	Pillanatnyi érték meghatározása	Átlagos érték meghatározása t_1-t_2 időtartamra
Abszolút növekedési sebesség	dY/dt	$(Y_2-Y_1)/(t_2-t_1)$
Relatív növekedési sebesség	(1/Y)(dY/dt)	$(\ln Y_2-\ln Y_1)/(t_2-t_1)$
Egyszerű arány	Y/Z	$[(Y_1/Z_1)+(Y_2/Z_2)]/2$
Összetett növekedési sebesség	(1/Z)(dY/dt)	$[(Y_2-Y_1)/(t_2-t_1)\times(\ln Z_2-\ln Z_1)]/(Z_2-Z_1)$

Abszolút növekedési sebesség (AGR, G)

A növény növekedésének legegyszerűbb mutatója, a méretbeli növekedés rátája, azaz a méret növekedése időegység alatt. Leggyakrabban az egész növény, vagy a különböző növényi szervek (komponensek) száraztömegének abszolút növekedési sebességét határozzuk meg.

Az abszolút növekedési ráta értékes komparatív mutató különböző kísérleti kezelések hatásának összehasonlításakor, azonban nem ad megfelelő információt a növény szárazanyag produkcióban kifejezett fiziológiai teljesítményéről, minthogy nagyon gyakran az abszolút növekedési ráta megközelítőleg arányos a növény méretével.

Pillanatnyi értéke: $AGR = \frac{dW}{dt}$ Átlagos értéke t_1 és t_2 időtartamban: $\overline{AGR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$

Mértékegysége: g nap^{-1} vagy g hét^{-1}.

Levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR)

A levélterület abszolút növekedési rátája a növény összes zöld, asszimiláló levélfelületének a növekedése, illetve csökkenése időegység alatt (Berzsenyi 2000a).

Pillanatnyi értéke: $ALGR = \frac{dL_A}{dt}$ Átlagos értéke: $\overline{ALGR} = \frac{L_{A2} - L_{A1}}{t_2 - t_1}$

Mértékegysége: cm^2 nap^{-1} vagy cm^2 hét^{-1}.

Relatív növekedési sebesség (RGR, R)

A növekedésanalízis alap mutatója, Blackman (1919) a szárazanyag-produkció efficiencia-indexének nevezte. Kifejezi a primer szervesanyag-tartalom időbeni felhalmozódásának sebességét, azaz a növekedés ütemét. A tömeggyarapodást a mérés kezdetén meglévő tömeghez viszonyítja. Az RGR-t kiszámíthatjuk az egész növény száraztömegére, vagy külön-külön is megállapíthatjuk az

egyes szervekre (pl. szár, levél, reproduktív szervek). Nyilvánvalóan az RGR sokkal reálisabb összehasonlítását adja a növények relatív teljesítményének, mint az AGR. Rendszerint a növényenkénti összes száraztömeg relatív növekedési rátáját határozzuk meg. A negatív relatív növekedési rátát relatív csökkenési rátának hívjuk.

Pillanatnyi értéke: $RGR = \frac{1}{W} \times \frac{dW}{dt}$ Átlagos értéke: $\overline{RGR} = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{t_2 - t_1}$

Mértékegysége: független a tömegtől, tipikusan g g^{-1} nap^{-1} vagy g g^{-1} $hét^{-1}$ (% / hét vagy % / nap).

Levélterület relatív növekedési sebessége (RLGR, R_L)

A relatív levélterület növekedési rátát (RLGR, R_L) Gregory (1926) vezette be, és kifejezi a növényenkénti összes levélterület növekedésének rátáját a levélterület egységére vetítve. Termésmodellekben használják a levelek relatív pusztulási rátáját (RDR, nap^{-1}), amelyet két mintavétel közötti időtartamra számítanak ki, attól az időszaktól kezdve, amikor a levél száraztömege a legnagyobb (Kropff és Laar 1993).

Pillanatnyi értéke: $RLGR = \frac{1}{L_A} \times \frac{dL_A}{dt}$ Átlagos értéke: $\overline{RLGR} = \frac{\ln L_{A2} - \ln L_{A1}}{t_2 - t_1}$

Mértékegysége: mm^2 mm^{-2} nap^{-1} (% / nap).

Egyszerű arányok

Levélterület arány (LAR, F)

A növény levélborítottságának morfológiai mutatója, amelyet Briggs et al. (1920a, b) használt először. A LAR a növényenkénti összes levélterület aránya, a növényenkénti összes száraztömeghez viszonyítva, amely visszatükrözi a fotoszintetikus kapacitás mértékét a respiráló tömeghez viszonyítva. Minthogy a LAR jellemzi az asszimiláló szervek relatív nagyságát, fontos tényezője a növényfajok (fajták) vagy növényállományok közötti differenciáknak, amelyet genetikai különbségek, a környezet vagy kísérleti kezelések okoznak.

A LAR két növekedési mutató, a specifikus levélterület (SLA) és a levéltömeg-arány (LWR) szorzata.

Pillanatnyi értéke: $LAR = \frac{L_A}{W}$ Átlagos értéke: $\overline{LAR} = \frac{(L_{A1} / W_1) + (L_{A2} / W_2)}{2}$

Mértékegysége: mm^2 g^{-1} vagy dm^2 g^{-1}.

Specifikus levélterület (SLA)

A specifikus levélterület (SLA) kifejezi az átlagos levélterület kiterjedést a levél száraztömegéhez viszonyítva. Az SLA megközelítőleg azt mutatja meg, hogy milyen levélstruktúra képződik a rendelkezésre álló szárazanyagból. A nagy specifikus levélterület jelzi a vékony leveleknek viszonylag nagy területét és fordítva.

Pillanatnyi értéke: $SLA = \frac{L_A}{L_W}$ Átlagos értéke: $\overline{SLA} = \frac{(L_{A1} / L_{W1}) + (L_{A2} / L_{W2})}{2}$

Mértékegysége: $mm^2\ mg^{-1}$ vagy $m^2\ g^{-1}$.

Levéltömeg-arány (LWR)

A levéltömeg-arány (LWR) kifejezi, hogy az összes asszimilátáknak mekkora hányada marad vissza a levélben.

Pillanatnyi értéke: $LWR = \frac{L_W}{W}$ Átlagos értéke: $\overline{LWR} = \frac{(L_{W1} / W_1) + (L_{W2} / W_2)}{2}$

Mértékegysége dimenzió nélküli, az értéktartomány $0 < x > 1$.

Összetett növekedési sebességek

Nettó asszimilációs ráta (NAR, ULR, E)

Már Gregory (1918) javasolta az egységnyi levélterületre vetített szárazanyag-gyarapodás bevezetését, mint a növény hatékonyságának jobban értelmezhető indexét. A nettó asszimilációs ráta (NAR) a növények szárazanyag produkciójának rátája, az összes levélterület (L_A) egységére vetítve. A NAR-t mind a növényegyedek, mind a növényállományok növekedésének mutatójaként használják. A gyakorlatban a NAR a fotoszintézis hosszú időtartamú mérése. Watson (1947a) megállapította, hogy NAR maximuma a nyári napéjegyenlőség (június vége) közelében alakul ki, függetlenül a kultúrnövény sajátosságait vagy a vetés idejétől. Grimme és Hunt (1975) kísérletei kimutatták, hogy a NAR értéke (a pillanatnyi érték maximuma, NAR_{max}) 19,7 g m^{-2} $hét^{-1}$ -től, 192 g m^{-2} $hét^{-1}$ -ig változhat.

Pillanatnyi értéke: $NAR = \frac{1}{L_A} \times \frac{dW}{dt}$ Átlagos értéke: $\overline{NAR} = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \times \frac{\ln L_{A2} - \ln L_{A1}}{L_{A2} - L_{A1}}$

Mértékegysége: tömeg per terület per idő: mg mm^{-2} nap^{-1} vagy g m^{-2} nap^{-1}.

Termésnövekedés sebessége (CGR)

A növényállomány mutatói közül a produkció hatékonyságának fontos mutatója, amelyet Watson (1958) használt először. Kifejezi a növényállomány szárazanyag produkciójának (W) sebességét, egységnyi tenyészterületre (P) és időegységre vetítve.

Pillanatnyi értéke: $CGR = \frac{1}{P} \times \frac{dW}{dt}$ Átlagos értéke: $\overline{CGR} = \frac{1}{P} \times \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1}$

Mértékegysége: g m^{-2} nap^{-1} vagy t ha^{-1} $év^{-1}$.

Levélterület-index (LAI)

A növekedésanalízis mutatóinak értelmezésénél további lépést jelentett a növényenkénti tenyészterület (P) bevonása a populációba. A növényenkénti levélterület ugyanis nem megfelelő a növényállomány levélzetének mérésére, mivel figyelmen kívül hagyja a növény tenyészterületét. E probléma megoldására Watson (1947a, b) bevezette a növényállományra alakított fogalmat, a levélterület indexet, és úgy definiálta, mint a növényállomány, növénytársulás egységnyi tenyészterületére (m^2) jutó levélterületet. A LAI kifejezi az asszimiláló rendszer méretét és a fényadaptációt. A LAI kiszámításánál kizárólag a levélterületet vesszük figyelembe annak ellenére, hogy egyes növényfajoknál (pl. gabonafélék) jelentős mennyiségű fotoszintézis történik a növény egyéb szerveiben is (szárban, levélhüvelyben, virágzatban).

Pillanatnyi értéke: $LAI = \frac{L_A}{P}$ Átlagos értéke: $\overline{LAI} = \frac{(L_{A1}/P_1) + (L_{A2}/P_2)}{2}$

Legtöbbször $P_1 = P_2$ (kivételt képeznek a denzitás kísérletek), így a képlet egyszerűsíthető.
Mértékegysége: dimenzió nélküli, pozitív szám (m^2 m^{-2}).

Levélterület tartósság (LAD) és biomassza-tartósság (BMD)

Ez a két integrált mutató figyelembe veszi az időfaktort, mivel nyilvánvaló, hogy a növekedést befolyásolja az a periódus, amelynek során a növények fenntartják levélterületüket és a biomassza produkciót. A levélterület tartóssága (LAD) és a biomassza-tartóssága (BMD) kifejezi a levélterület (vagy levélterület-index), illetve a képződött száraztömeg nagyságát és tartósságát a növény növekedésének időszakában. A LAD – amelynek bevezetését Watson (1947a, b) javasolta – kiszámítható az individuális növények levélterületéből, valamint a LAI alapján is meghatározható. A BMD-t, ami tehát analóg a LAD-dal, Kvet et al. (1969) a növényállomány vitalitását jellemző mutatóként írta le. Ha a növényenkénti összes száraztömeget az idő függvényében ábrázolják, akkor a BMD a görbe alatti területként definiálható.

Kétféle módon lehet a LAD-ot kiszámolni:

1. Levélterület (L_A) alapján: $\overline{LAD} = \frac{L_{A1} + L_{A2}}{2} \times (t_2 - t_1)$

   Mértékegysége: m^2 nap.

2. LAI alapján:

   integrálszámítással (mi ezt alkalmaztuk): $\overline{LAD} = \frac{LAI_2 - LAI_1}{\ln LAI_2 - \ln LAI_1} \times (t_2 - t_1)$

   grafikusan: $\overline{LAD} = \frac{LAI_1 + LAI_2}{2} \times (t_2 - t_1)$

   Mértékegysége: dimenzió nélküli, azonos az idővel (nap vagy hét).

A BMD az alábbi egyenletekkel számítható ki:

1. integrálszámítással (mi ezt alkalmaztuk): $\overline{BMD} = \frac{W_2 - W_1}{\ln W_2 - \ln W_1} \times (t_2 - t_1)$

2. grafikusan: $\overline{BMD} = \frac{W_1 + W_2}{2} \times (t_2 - t_1)$

   Mértékegysége: tömeg x idő, g nap vagy g hét.

Harvest index (HI)

A harvest index (HI) Donald (1962) definíciója szerint a gazdaságilag hasznos termés aránya a növény összes földfeletti tömegéhez (biológiai hozam, biomassza) viszonyítva a betakarítás időpontjában (a növény fiziológiai érésekor). Mód van azonban arra is, hogy a növény növekedésének időszakában határozzuk meg a HI pillanatnyi és átlagos értékét. A HI értelmezése azonos a szemtermés-produkció hatékonyságának kifejezésére korábban javasolt koefficiensekkel (Beaven (1914): migrációs koefficiens, Nichiporovich (1954): hatákonysági koefficiens).

A HI-t a következő formulával számítjuk ki: $HI = \frac{\text{hasznos termés}}{\text{biológiai hozam}} \times 100$

Mértékegysége: dimenzió nélküli vagy %

4.3.2. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerének alkalmazása

A mintavételi adatok feldolgozása során a növekedésanalízis klasszikus módszerével kiszámítottuk a kukorica növényegyed, illetve a növényállomány növekedését jellemző mutatókat trágyázási kezelésenként, minden mintavételi időszakra. A növekedési mutatók átlagértékeit a mintavételenként meghatározott száraztömeg és levélterület adatokból, két egymást követő mintavétel közötti intervallumra, munkaképletek segítségével számítottuk ki. A mutatók átlagos

értékeinek képleteit, a pillanatnyi értékeinek egyenletéből, integrálszámítással vezettük le, majd elosztottuk a mintavételek közötti idővel. Az RGR, NAR, LAR, LWR és SLA mutatók kiszámítására alkalmaztuk a Hunt et al. (2002) által kidolgozott, korszerű klasszikus növekedésanalízis programot is. A program kiszámítja az öt paraméter átlagértékeinek becslését a szórással (SE) és a 95%-os konfidencia-intervallummal együtt (95 % CL), egy-egy mintavételi periódusra (t_1-től t_2-ig). A *6. melléklet* tartalmazza a kísérletben, 2005-ben a 7. trágyakezelés 1. és 2. mintavétele során mért levélterület, illetve szárazanyag értékekből számított mutatókat, a klasszikus növekedésanalízis program alkalmazásával. (A bemutatott kezelés és mintavétel véletlenszerűen lett kiválasztva.)

A növekedésanalízis funkcionális módszere szerinti értékelésnél, a növényi mintavételek során kapott eredmények kiértékelésére Hunt-Parsons (1974) növekedésanalízis programját (HP modell) használtuk, amely magában foglalja a matematikai és statisztikai számításokat is. A módszer célja, hogy megadja az összes paraméter átlagértékeinek becslését a szórással és a konfidencia-intervallummal együtt, minden mintavételi periódusra. A Hunt-Parsons növekedésanalízis program a stepwise regressziós módszer alapján elsőfokú, másodfokú vagy harmadfokú polinomot illeszt az egész növény száraztömegéhez (Y) és az összes levélterülethez (Z), az idő (X) függvényében (Berzsenyi 2000a). A *7. melléklet* a 7. trágyakezelés 1.-10. mintavétele során mért levélterület, illetve összes szárazanyag értékek futtatási eredménye 2005-ben, a Hunt-Parsons növekedésanalízis programmal. (A bemutatott kezelés és mintavétel véletlenszerűen lett kiválasztva.)

4.4. A kísérleti adatok biometriai értékelésének módszerei

Varianciaanalízis

A kísérlet során a kukorica maximális levélterületét, a cső melletti levél területét és klorofill-tartalmát, a terméskomponenseket, illetve a száraz szemtermést mértük mind a hét ismétlésben, így ezen adatok varianciaanalízise latin-négyzet elrendezés alapján történt. A növényi mintavételek, a szárazanyag-tartalom, a levélterület, a levél klorofill- és N-tartalma, valamint a szem nyersfehérje-, olaj- illetve keményítő tartalma négy ismétlésben lett mérve a jelentős munkaerő igényük miatt, így ezen adatok varianciaanalízise véletlen blokkelrendezés alapján történt (a latin-négyzet elrendezés I-IV. ismétlése).

A latin-négyzet elrendezésben (LS) a kezelések száma azonos az ismétlések számával, s legfontosabb sajátossága, hogy egyidejűleg képes a kísérleti egységek közötti variáció két ismert forrását figyelembe venni, és ezeket független blokk-képzési kritériumként kezelni. Ennek a

kétirányú blokk-képzésnek az előnye, hogy becsülni tudjuk a variációt a sor-blokkokban és az oszlop-blokkokban is, és elkülöníthetjük ezeket a kísérleti hibától, valamint, hogy lehetővé teszi a kísérletezőnek, hogy a variáció két forrását szabályozza. A latin-négyzet elrendezés hátránya, hogy a hiba FG értéke kicsi, ha csak néhány kezelést tartalmaz, valamint hogy nagy a területigénye, hiszen a parcellák száma a kezelések számának a négyzete (Berzsenyi 2010).

A latin-négyzet elrendezés statisztikai modellje:

(termés) = (főátlag) + (sor-hatás) + (oszlop-hatás) + (kezelés-hatás) + (maradék)

$$y_{ijk} = \mu + R_i + C_i + T_k + e_{ijk} \qquad i = 1...t;\ j = 1...t;\ k = 1...t$$

ahol y_{ijk}: az i-edik sorban és a j-edik oszlopban k-adik kezelésben részesült parcella adata (pl. termése); μ: a populáció átlagos reakciója; R_i: i-edik sor átlagos hatása; C_i: a j-edik oszlop átlagos hatása; T_k: a k-adik kezelés átlagos hatása; e_{ijk}: random kísérleti hiba.

A véletlen blokkelrendezés (RCB) az egyik leggyakrabban használt kísérleti elrendezés a mezőgazdasági kutatásban. Jellemző tulajdonsága az egyenlő méretű blokkok jelenléte, amelyeknek mindegyike tartalmazza az összes kezelést. A blokk-képzés elsődleges célja a kísérleti hiba csökkentése azáltal, hogy kiküszöböljük a variáció ismert forrásának hozzájárulását a kísérleti egységek között. Ezt azáltal érjük el, hogy a kísérleti egységeket (parcellákat) blokkokba csoportosítjuk úgy, hogy a variabilitást minden blokkon belül minimalizáljuk és a blokkok között a variabilitást maximalizáljuk. Ennek az elrendezésnek a legfőbb előnye, hogy akárhány kezelést és bármennyi blokkot képezhetünk és az eredmények biometriai analízise viszonylag egyszerű. A véletlen blokkelrendezés hátránya, hogy a hiányzó adatok nehézséget okoznak az analízisben, valamint a kezelés nem megfelelő blokkban való jelölése problémákhoz vezet az analízisben (Berzsenyi 2010).

A véletlen blokkelrendezés statisztikai modellje:

(termés) = (főátlag) + (ismétlés-hatás) + (kezelés-hatás) + (maradék)

$$y_{hi} = \mu + T_i + Bl_h + e_{hi} \qquad i = 1...t;\ h = 1...b$$

ahol $_{yhi}$: a h-adik blokkban i-edik kezelésben részesült parcella adata (pl. termése); μ: a populáció átlagos reakciója; T_i: i kezelés átlagos hatása; Bl_h: a h blokk hatása; e_{hi}: random kísérleti hiba.

A trágyázási tartamkísérletből származó kísérleti adatsorok biometriai értékelését Sváb (1981) módszere alapján, varianciaanalízissel végeztük, Microsoft® Windows Excel (2003) programmal.

Kumulatív terméselemzés

A kísérleti kezelések termésre gyakorolt hatását 1958-2009 között, először a tartamkísérletekre kidolgozott kumulatív módszerrel értékeltük (Sváb 1981). A kumulált terméskülönbségek azt mutatják meg, hogy a t-edik évben mennyi az adott kezelés összes terméskülönbsége a

báziskezeléshez viszonyítva. A báziskezeléshez való viszonyításra azért van szükség, hogy a termés mennyiségét befolyásoló évjárathatást kiküszöböljük.

Stabilitásanalízis

A stabilitásanalízis vizsgálathoz az AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction) többváltozós modellt alkalmaztuk, amely a varianciaanalízis és a főkomponensanalízis kombinációja (Crossa 1990). Az AMMI analízis első részében a varianciaanalízis az összes variációt három ortogonális forrásra bontja fel: genotípus (G), környezet (E) és genotípus × környezet kölcsönhatás (G×E). Az AMMI analízis második részében a főkomponensanalízis (PCA) a G×E interakciót több ortogonális főkomponens változóra (PCA tengelyre) bontja fel. Minél nagyobb a főkomponens értéke, annál nagyobb a kezelés hozzájárulása a kölcsönhatáshoz, azaz annál kisebb a termésstabilitás (Berzsenyi et al. 2011).

Korrelációvizsgálat

A kukorica szemtermése, illetve a szemtermést meghatározó terméskomponensek, valamint növekedési mutatók közötti összefüggések lineáris regresszióanalízissel számított korrelációs koefficiens értékeit a GenStat 13.1 statisztikai programcsomag szerint, a Pearson-próba alapján, illetve a növekedési mutatók közötti parciális korreláció alapján is meghatároztuk. A szignifikáns kapcsolatot mutató korrelációs koefficiens értékek mellett, feltüntettük a szignifikancia szinteket is.

Többszörös regresszióanalízis

A kukorica szemtermése és a két terméskomponens közötti összefüggést az SPSS 11.0 for Windows statisztikai program „Enter” eliminációs módszerével is értékeltük. A többszörös regresszióanalízisben a szemtermés volt a függő változó és a két terméskomponens (a csövenkénti szemszám és az ezerszemtömeg) a független változó. Meghatároztuk a b-értéket, a regressziós koefficiens becsült értékét, valamint a β, a standardizált regressziós koefficiens értékét (valódi érték), ami megmutatja a változók relatív jelentőségét a szemtömeg kialakításában.

A kísérleti adatok feldolgozása IBM kompatíbilis számítógépen Microsoft® Windows Excel (2003), SPSS 11.0. for Windows (2001), GenStat 13.1 (2002), MSTAT-C (1991) és Hunt-Parsons (1974) programokkal történt.

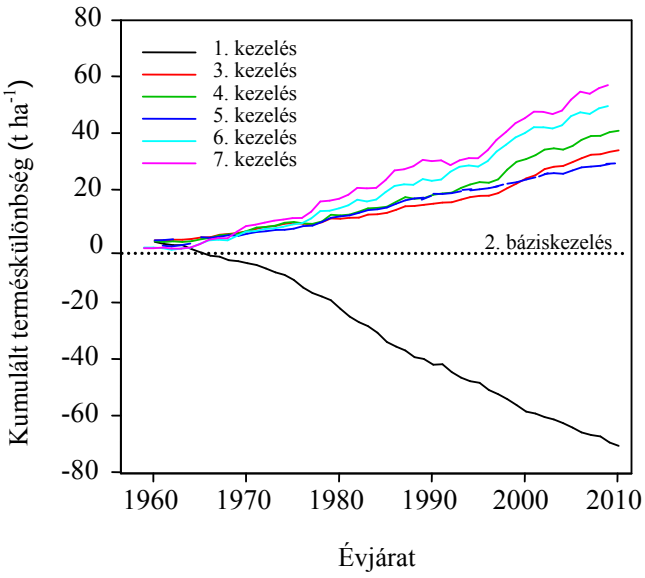
5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A tartamkísérlet 51 éves terméseredményei (1958-2009)

5.1.1. A trágyázás hatásának vizsgálata kumulatív terméselemzéssel

Az istálló- és műtrágya 51 éves tartamhatásának összehasonlító értékelését kukorica monokultúrában, az *5.1. ábra* szemlélteti. A báziskezeléshez (35 t ha^{-1} istállótrágya négyévenként) viszonyított kumulált terméskülönbségeket Sváb (1981) módszere alapján értékeltük. Látható, hogy a trágyázás nélküli kontroll évről évre nagyobb terméscsökkenéshez vezet, görbéje fokozatosan lehajlik. Nem lenne értelme évenkénti átlagos terméscsökkenésről beszélni, mert eleinte kicsi, később mind nagyobb az éves terméscsökkenés. Az 51. évben az összes terméshiány a báziskezeléshez viszonyítva 72,9 t ha^{-1}, a legjobb 7-es kezeléshez viszonyítva 129,8 t ha^{-1} volt.

A trágyázási kezelések között az első hét évben semmi különbség, az első tíz évben alig volt különbség. A kezeléshatások a 14. évtől kezdenek elkülönülni, ami egyértelműen bizonyítja, hogy trágyázási kísérleteknek csak több évtizedes tartamkísérletekben van értelme (Berzsenyi et al. 2011).

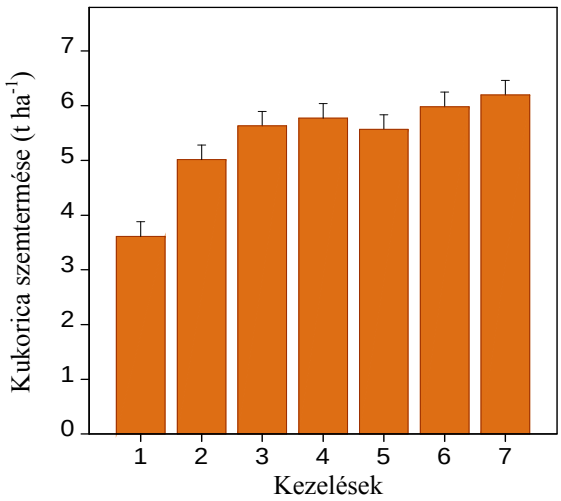


5.1. ábra. Az istállótrágya és a műtrágya (1.-7. kezelés) termésnövelő hatásának összehasonlító értékelése kukorica monokultúrában (1959-2009) (Berzsenyi et al. 2011).
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Tulajdonképpen csak a 7. kezelés, azaz a 70 t ha^{-1} istállótrágyát helyettesítő NPK dózis eredménye ugrik ki már a 12. évtől és tartja, később fokozza előnyét a többi kezeléssel szemben. A 6. kezelés, azaz a bázis istállótrágya + NPK kiegészítés, a 70 t ha^{-1} istállótrágyához viszonyítva a 18. évtől jut fokozatos előnyhöz. A 3-5. kezelés fokozatosan elmarad a 6-7. kezeléstől, hatásukban kezdetben nincs különbség, az utolsó 20 évben viszont a 4. kezelés hatása emelkedik ki. Az 51. évben a báziskezeléshez viszonyítva a kumulált terméskülönbség kezelésenként a következő volt: 3. kezelés: 31,6; 4. kezelés: 38,6; 5. kezelés: 26,9; 6. kezelés: 49,5; 7. kezelés: 56,9 t ha^{-1}.

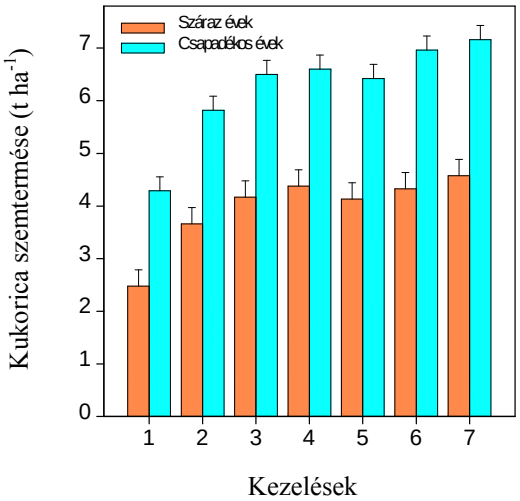
5.1.2. A trágyázás és az évjárat fő hatása és kölcsönhatása

Az *5.2. ábra.* szemlélteti az istállótrágya és a műtrágya 51 éves tartamhatását a kukorica termésére, monokultúrában. Az 51 év adatainak elemzése alapján megállapítható, hogy a kukorica termése a magas szintű trágyázásnál volt a legnagyobb, akár NPK műtrágya formájában, akár a hatóanyag-azonosság alapján fele arányban istállótrágya formájában juttattuk ki (6. és 7. kezelés). A 3-5. kezelés termése szignifikánsan nem különbözik egymástól, vagyis a négyévenként kijuttatott 70 t ha^{-1} istállótrágya termésre gyakorolt hatása megegyezik az $N_1P_1K_1$ kezelés hatásával akkor is, ha az utóbbinak felét istállótrágya formájában juttatjuk ki (3. kezelés). A négyévenkénti 35 t ha^{-1} istállótrágyázás termésre gyakorolt hatása (2. kezelés) szignifikánsan kisebb a többi trágyázott kezelésnél.



5.2. ábra. A trágyázási kezelések (1.-7.) 51 éves hatása a kukorica szemtermésére, monokultúrában (1959-2009, Martonvásár) (Berzsenyi et al. 2011). Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A tartamkísérlet 51 évének száraz és csapadékos évjáratokra csoportosítása rámutat az évjárat termésre gyakorolt igen jelentős hatására. Az istállótrágya és az azonos hatóanyag-tartalmú műtrágya hatását a kukorica termésére száraz (19 év) és csapadékos (32 év) évjáratokban a *5.3. ábra* szemlélteti. A vizsgált hét kezelés átlagában a kukorica termése száraz években 3,959 t ha^{-1}, csapadékos években 6,250 t ha^{-1} volt, vagyis kedvező évjáratban a termésnövekedés 2,291 t ha^{-1} volt. A trágyázás két szintje (17,5 illetve, 35 t ha^{-1} istállótrágya) között száraz és csapadékos években egyaránt szignifikáns különbség volt (P = 0,05, illetve P = 0,001 szinten), a terméskülönbség azonban csapadékos években kétszerese volt a száraz években mért különbségnél (0,274 t ha^{-1} vs. 0,543 t ha^{-1}). Száraz években szignifikáns különbség (P = 0,05) volt az istállótrágyázás két szintje között is (0,47 t ha^{-1}). Csapadékos években a kombinált trágyázás mindkét trágyázási szinten nagyobb termést adott az istállótrágyázáshoz viszonyítva, míg száraz években csak az első trágyázási szinten (17,5 t ha^{-1}) volt szignifikáns a különbség (P = 0,05). Az istállótrágya és az NPK műtrágya kombináció termésre gyakorolt hatása nem különbözött szignifikánsan az NPK műtrágyázás hatásától sem az 51 év összevont analízise, sem pedig az évjáratonkénti, illetve trágyázási szintenkénti varianciaanalízis alapján.



5.3. ábra. Az istállótrágya és a műtrágya hatása (1.-7. kezelés) a kukorica szemtermésére száraz (19 év) és csapadékos évjáratokban (32 év), monokultúrában (1959-2009, Martonvásár) (Berzsenyi et al. 2011). Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.2. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, valamint a levél klorofill-, és nitrogén tartalmára a vizsgált években (2005-2007)

5.2.1. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukorica szemtermésére az *5.1. táblázat* és az *5.4. ábra* szemlélteti. 2005-ben és 2006-ban azonos tendencia mutatkozott a terméseredményekben, szignifikánsan a legmagasabb termeséket (9,82 és 7,69 tha^{-1}) a 70 t ha^{-1} istállótrágyát teljes mértékben helyettesítő NPK-dózisnál mértük (7. kezelés), míg 2007-ben az 5. kezelésben (3,35 t ha^{-1}), azaz a 70 t ha^{-1} istállótrágya alkalmazásakor, ami az istállótrágya pozitív hatásával magyarázható száraz évjáratban. A 2007-es aszályos évben, a kísérleti kezelések hatása kevésbé vagy egyáltalán nem volt mérhető a terméseredményekben, ami a jelentős csapadékhiány terméslimitáló hatásával magyarázható.

5.1. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukorica szemtermésére, eltérő évjáratokban (2005-2007) és a vizsgált három év átlagában

	Száraz szemtermés [t ha^{-1}]			
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**	**Átlag**
1	4,26 e	3,99 e	2,49 b	3,58 e
2	5,96 d	4,88 de	3,01 a	4,62 d
3	7,67 b	6,01 bc	3,18 a	5,62 bc
4	7,97 b	6,28 b	3,11 a	5,79 b
5	6,81 c	5,17 cd	3,35 a	5,11 cd
6	9,22 a	6,26 b	2,44 b	5,97 b
7	9,82 a	7,69 a	2,32 b	6,61 a
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***

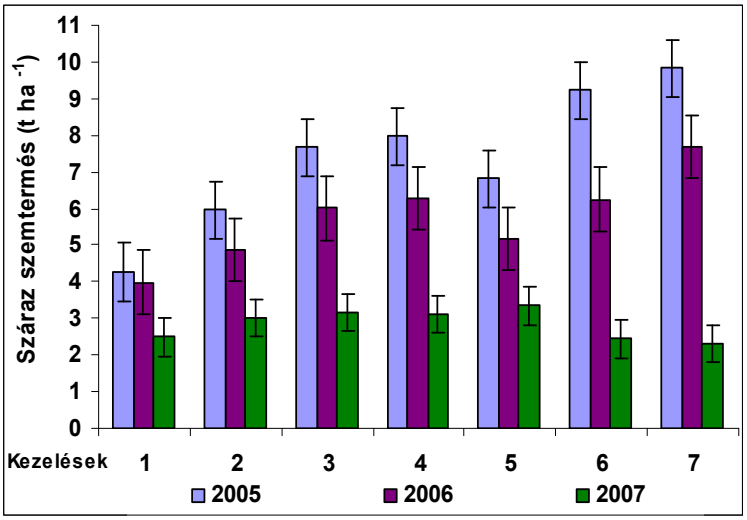
$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 0,97***

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a Duncan teszt alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Csapadékos évjáratban (2005) és a még kielégítő vízellátottságú évben (2006), az istállótrágya+műtrágya (3. és 6.) kezelés termésre gyakorolt hatása szignifikánsan felülmúlta az istállótrágya hatását (2. és 5. kezelés), azonban alulmaradt a műtrágya formájában kijuttatott azonos NPK-hatóanyag hatásától (4. és 7. kezelés). A kísérletben, mind a három vizsgált évben a kontroll kezelésben kaptuk szignifikánsan a legkisebb termést. Aszályos évben (2007) a magas trágyadózisú kezelések (6. és 7. kezelések) terméseredménye (2,44 t ha^{-1}) nem mutatott

szignifikáns különbséget a kontroll kezelésben kapott terméstől. A varianciaanalízis és a Duncan teszt alapján minden évben szignifikáns különbséget kaptunk a trágyázási kezelések között.

A 2005-2007. évek átlagában a kukorica szemtermése trágya kezelésenként a következő volt (t ha^{-1}): 1. kezelés 3,58; 2. kezelés 4,62; 3. kezelés 5,62; 4. kezelés 5,79; 5. kezelés 5,11; 6. kezelés 5,97; 7. kezelés 6,61. A hét trágyázási kezelés átlagában a kukorica szemtermése a három évben a következő volt (t ha^{-1}): 2005-ben 7,39; 2006-ban 5,75; 2007-ben 2,84.



5.4. ábra. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukorica szemtermésére, eltérő évjáratokban (2005-2007).
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.2.2. A szerves- és műtrágya hatása a terméskomponensek (szemszám és ezerszemtömeg) alakulására

Három éves kísérleti eredményeink alapján az optimális N-ellátás és az évjárathatás jelentősen hozzájárult mind a csövenkénti szemszám, mind az ezerszemtömeg értékének alakulásához. A kezelések hatását a legfontosabb terméskomponensek alakulására a vizsgált három évben, az *5.2. táblázat* mutatja be.

Az ezerszemtömeg értéke a kezelések átlagában 2005-ben volt szignifikánsan a legmagasabb, és 2007-ben a legkisebb. A vizsgált három év átlagában a 2. és 5., a 3. és 4. valamint a 6. és 7. trágyázási kezelések között szignifikáns különbség nem volt. Száraz évjáratban az ezerszemtömeg értéke 12,7 - 33,1 %-kal csökkent a csapadékos évjáratban kapott ezerszemtömeghez képest.

A legnagyobb csövenkénti szemszám értékeket a 2006-os évben kaptuk, minden kezelésben (kivéve az 5. kezelés esetében 2005-ben). Kedvezőtlen évjáratban (2007) a csövenkénti szemszám a kontroll kezelésben csökkent a legkevésbé (11,4 %-kal), míg a csak műtrágyázott kezelésekben a legnagyobb mértékben (32-35 %-kal). A kontroll kezelésben kapott csövenkénti szemszám érték, a maximális csövenkénti szemszámhoz képest, amit a 7. kezelésben kaptunk, 2005-ben 36,6 %-kal volt kevesebb, 2006-ban 29,4 %-kal, míg az aszályos 2007-es évben csupán 5,6 %-kal. A vizsgált három év átlagában a 3., 6. és 7. trágyázási kezelések között szignifikáns különbség nem volt a szemszám értékekben. 2007-ben a hét kezelés ezerszemtömeg és csövenkénti szemszám értékei között statisztikailag igazolható különbség nem volt.

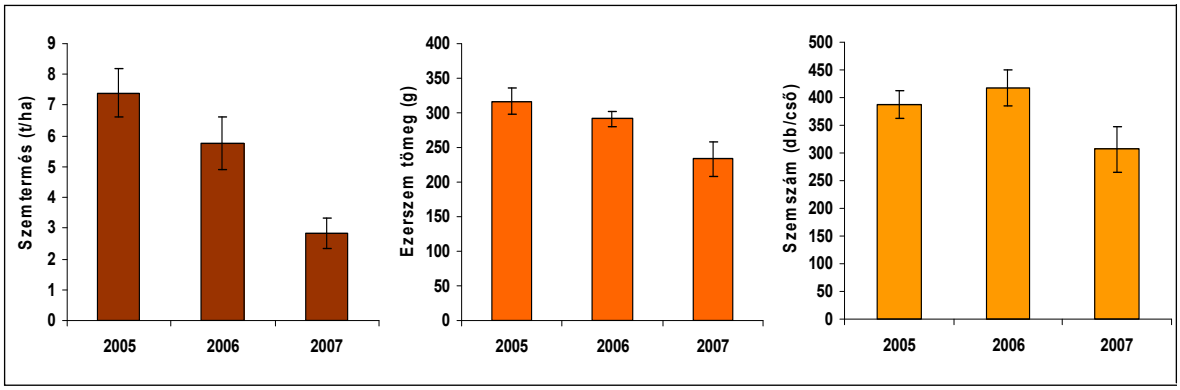
5.2. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a vizsgált három év átlagában a kukorica ezerszemtömegére és szemszámára, eltérő évjáratokban (2005-2007)

	1000 szem tömeg [g]			**Csövenkénti szemszám [db cső$^{-1}$]**		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**	**2005**	**2006**	**2007**
1	262,02 d †	277,87 d	227,37	272,67 e	313,09 d	289,11
2	267,52 d	281,63 cd	233,36	325,19 d	379,23 c	322,11
3	333,23 b	295,21 b	231,60	413,57 bc	424,14 ab	321,83
4	328,27 b	289,87 bc	230,72	420,76 abc	437,24 ab	304,06
5	303,84 c	284,73 bcd	235,14	405,67 c	404,51 bc	298,49
6	356,38 a	291,76 bc	228,71	435,71 ab	436,13 ab	304,54
7	366,81 a	316,11 a	245,49	440,29 a	447,97 a	306,80
$SzD_{kezelés}$	***	***	NS	***	***	NS
	$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 19,93***			$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 37,81***		

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az 5.5. ábra mutatja az évjárat (2005-2007) hatását a kukorica szemtermésére, ezerszem tömegére és csövenkénti szemszámára. A hét kezelés átlagában a legmagasabb szemtermés és ezerszemtömeg értékeket a csapadékos 2005-ös évben kaptuk, míg a csövenkénti szemszám 2006-ban volt a legmagasabb. Szoros összefüggést tehát a szemtermés, és ezerszemtömeg mutatott. A 2005-ös, kedvező meteorológiai adottságú évben, a virágzási időszakban nem volt kellő mennyiségű csapadék, ezért nem volt ideális a nővirágok megtermékenyülése, aminek következtében a csöveken kevesebb szem fejlődött. A későbbiekben, szemtelítődéskor hullott csapadék kedvező hatására több tápanyagot tudott a szemekbe juttatni a növény, ami által szignifikánsan magasabb ezerszemtömeg értéket kaptunk.

A 2006-os, szárazabb évben, virágzáskor kellő mennyiségű csapadék állt a növények rendelkezésére, ami elősegítette a nővirágok megtermékenyülését és a magas szemszám kialakulását a csőkezdeményekben. Szemtelítődéskor azonban nem volt elegendő csapadék, ami szignifikánsan csökkentette az ezerszemtömeg értékét.



5.5. ábra. Az évjárat (2005-2007) hatása a kukorica szemtermésére, ezerszemtömegére és csövenkénti szemszámára, a trágyázási kezelések átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten

5.2.3. A szerves- és műtrágya hatása a szem beltartalmára

A trágyázási kezelések hatását a kukoricaszem nyersfehérje-, olaj- és keményítőtartalmára eltérő évjáratokban, az *5.3. táblázat* eredményei mutatják be. A szem nyersfehérje tartalma a N-ellátottságtól és az évjárattól függően 6,00 - 9,95 % között változott a kísérleti évek alatt. A kezelések hatása a szemtermés nyersfehérje tartalmának változására összhangban volt a termésreakcióval. A legmagasabb szem nyersfehérje tartalmat kedvező évjáratokban a 7. kezelésben, a magas szintű NPK műtrágyázásnál (8,96 - 9,39 %), míg a legalacsonyabb nyersfehérje tartalmat a kontroll és az alacsony szintű trágyakezelésekben értük el (6,00 - 6,44 %). Aszályos évben kiemelkedően magas szem nyersfehérje tartalmat mértünk magas szintű NPK műtrágyázás hatására (9,95 %), míg a legalacsonyabb nyersfehérje tartalmat az 5. és a 2. kezelésekben, azaz a csak istállótrágyázott kezelésekben kaptuk (7,49 - 7,55 %).

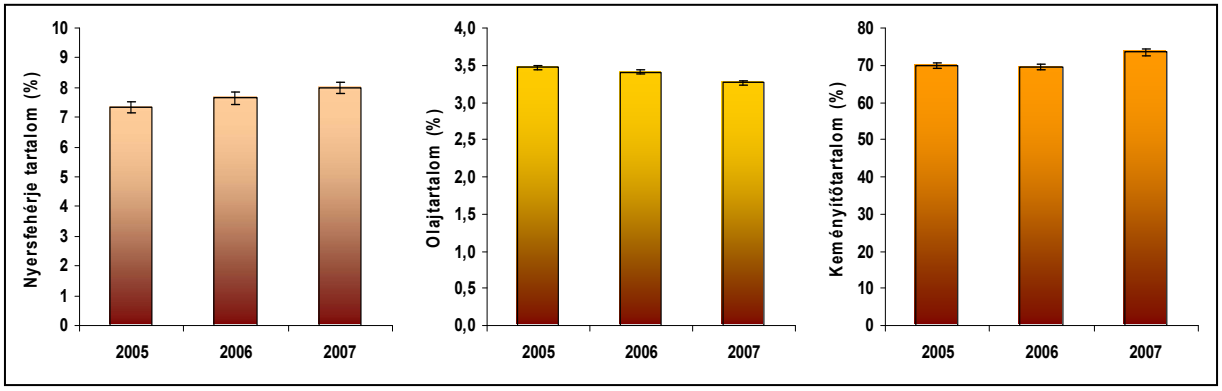
Az évek átlagában a kontroll és a 2. kezelés, valamint a 3. és a 4. kezelés hatására kapott szem nyersfehérje tartalom értékek szignifikánsan nem különböztek. Nagyarányú műtrágyázás alkalmazásával − hosszú ideje tartó monokultúrás termesztésben is − kiemelkedő szem nyersfehérje tartalom eredményeket kaptunk (9,43 %, az évek átlagában).

5.3. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7) hatása a kukoricaszem nyersfehérje-, olaj- és keményítőtartalmára, eltérő évjáratokban (2005-2007)

	Szem nyersfehérje tartalom [%]			**Szem olajtartalom [%]**			**Szem keményítőtartalom [%]**		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**	**2005**	**2006**	**2007**	**2005**	**2006**	**2007**
1	6,28 de †	6,44 c	7,89 bc	3,55 a	3,69 a	3,31 b	70,16 b	64,63 c	72,76
2	6,00 e	6,78 c	7,55 cd	3,53 a	3,26 c	3,31 b	71,75 a	70,99 b	74,88
3	6,85 bc	7,59 b	7,99 b	3,46 ab	3,54 a	3,39 a	70,58 ab	66,88 c	72,24
4	7,36 b	7,65 b	7,60 bcd	3,48 ab	3,33 bc	3,08 c	70,23 b	71,36 b	74,29
5	6,70 cd	7,56 b	7,49 d	3,51 ab	3,39 b	3,34 ab	70,26 b	66,69 c	74,18
6	8,94 a	8,61 a	7,59 bcd	3,41 bc	3,28 bc	3,09 c	68,08 c	74,05 a	73,04
7	9,39 a	8,96 a	9,95 a	3,35 c	3,38 b	3,36 ab	67,79 c	71,53 ab	73,00
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	**	***	***	***	***	NS
	$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 0,49***			$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 0,09***			$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 2,16**		

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A szemek olajtartalma kedvező évjáratokban a nitrogén hatóanyag növelésével szignifikánsan csökkent. Aszályos évben az olajtartalom szignifikánsan a legmagasabb a 3., 5. és 7. kezelésekben volt. A szemek keményítőtartalmának alakulásában nem figyelhettünk meg egyértelmű kezeléshatásokat, 2005-ben a 2. és 3. kezelésekben, 2006-ban a 6. és 7. kezelésekben mértük a legmagasabb szem keményítőtartalmat, aszályos évben pedig nem volt szignifikáns kezeléshatás. Az *5.6. ábra* mutatja be az évjárat hatását a kezelések átlagában a kukoricaszem fehérje-, olaj- és keményítőtartalmára.

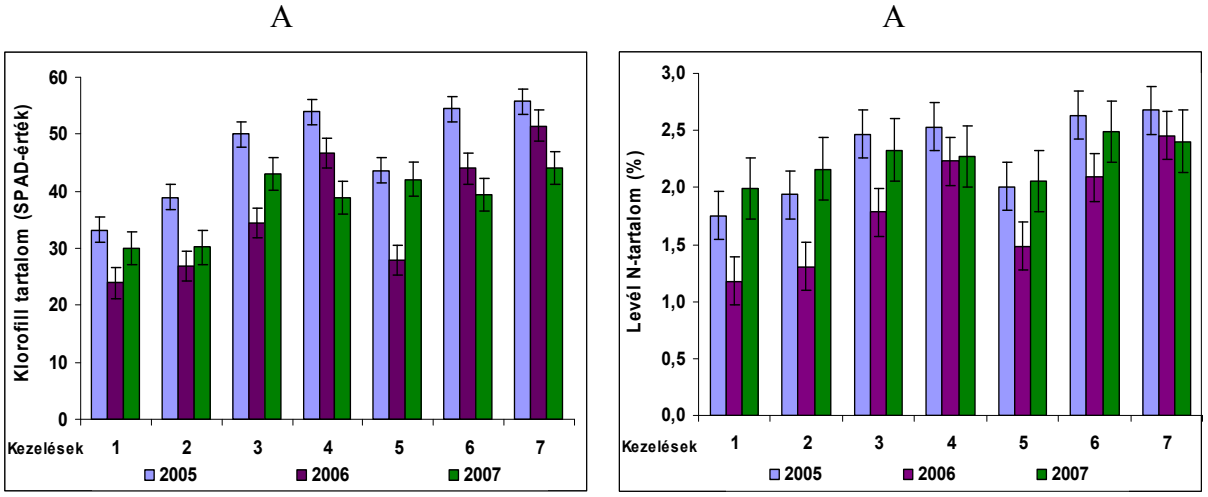


5.6. ábra. Az évjárat (2005-2007) hatása a kukoricaszem nyersfehérje-, olaj- és keményítőtartalmára, a trágyázási kezelések átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten

Eredményeink is igazolták, hogy a nagy terméshozamú évben (2005) kisebb nyersfehérje tartalmat (7,35 %), míg a alacsonyabb termésered ményű évben (2007), nagyobb (8,00 %) szem nyersfehérje tartalmat érhetünk el. A kukoricaszem nyersfehérje- és keményítőtartalma a kezelések átlagában aszályos évjáratban volt a legmagasabb, míg az olajtartalom a csapadékos években. Az évjáratok között szignifikáns eltérést tapasztaltunk.

5.2.4. A szerves- és műtrágya hatása a levél klorofill- és nitrogén-tartalmára

A kukorica levél klorofill-tartalmának, az ún. SPAD-értékeknek a szignifikáns változását figyeltük meg a különböző trágyakezelésekben. A kezelések hatását a kukorica klorofill-tartalmára eltérő évjáratokban, az *5.7.A ábra* szemlélteti.



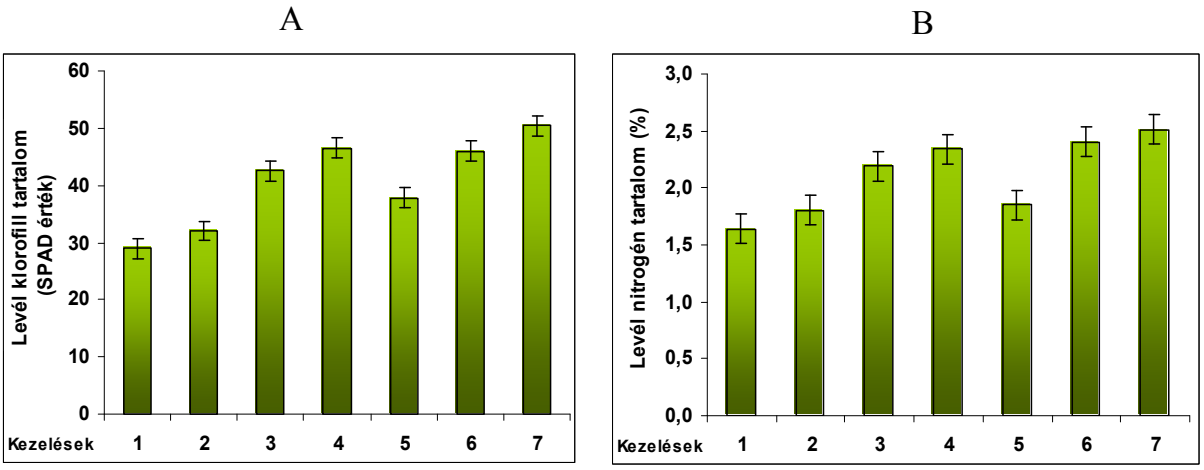
5.7. ábra. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása *A:* a kukorica levél klorofill-tartalmára, *B:* a kukorica levél nitrogén-tartalmára eltérő évjáratokban (2005-2007). Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A kísérleti évek átlagában, kezelésenként a következő értékeket mértük: 1.: 29,0; 2.: 32,0; 3.: 42,5; 4.: 46,5; 5.: 37,9; 6.: 46,0; 7.: 50,4. A vizsgált három év átlagában a hét trágyázási kezelés között szignifikáns különbség volt. Szoros összefüggést állapíthattunk meg a kukorica levélen mért SPAD-értékek és a kukorica szemtermése között, ugyanakkor laza volt az összefüggés az évjárathatással.

Mértük a kukorica növényenkénti összes levelének TKN-tartalmát, roncsolás után. A trágyázási kezelések hatását a kukorica levél összes nitrogén-tartalmára eltérő évjáratokban, az *5.7.B ábra* mutatja be. A kontroll és a csak szerves trágyát kapott (2. és az 5.) kezelések esetében

a legmagasabb N-tartalmat, az aszályos, 2007. évben mértük a kukorica levelekben. A csak műtrágyát, illetve műtrágyát és szerves trágyát is kapó kezelések esetében a kedvező, 2005-ös évjáratban volt igazolhatóan a legmagasabb a kukorica levelének N-tartalma.

A trágyázási kezelések hatását a vizsgált három év átlagában a kukorica levél klorofill-, illetve összes-N-tartalmára az *5.8.A és B ábrák* szemléltetik. Szoros összefüggést állapíthattunk meg a SPAD-mérővel kapott értékek, illetve a laboratóriumban meghatározott összes-N-tartalom között a különböző trágyázási kezelések hatására.



5.8. ábra. A: a kukorica levél klorofill tartalma, *B:* a kukorica levél N-tartalma, a trágyázási kezelések (1.-7.) hatására, a vizsgált három év (2005-2007) átlagában. Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.3. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növekedési jellemzőinek dinamikájára

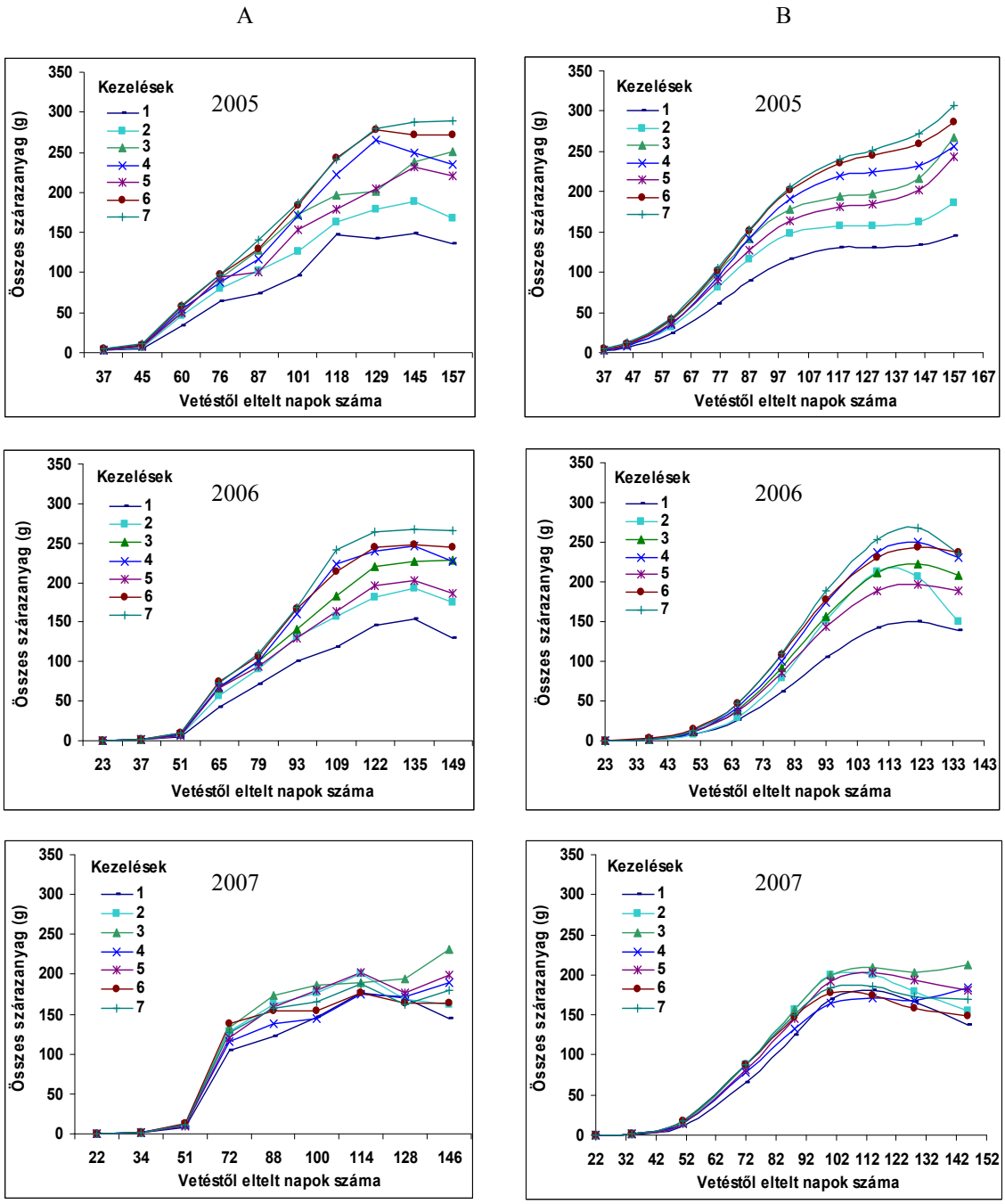
5.3.1. A növényenkénti összes szárazanyag-produkció dinamikája

A mért értékek alapján

A szárazanyag-produkció (14-21 naponkénti) rendszeres meghatározása a növekedésanalízis során lehetővé teszi a kukoricanövény növekedési dinamikájának összehasonlító vizsgálatát a különböző kezelésekben, a növény növekedésének teljes időszakában. A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény összes szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével, az *5.9. A ábra* mutatja.

A növényenkénti szárazanyag beépülés dinamikáját szigmoid típusú görbével jellemezhetjük, amelynek lefutása 2005 és 2006-ban nagyon hasonló, míg 2007-ben jelentősen eltérő volt. 2005 és 2006-ban jól elkülönültek a különböző kezeléshatások, amelyek alapján három csoportot lehetett alkotni: a legmagasabb szárazanyag produkciót a 6. és a 7. kezelésekben (278-289 g növény^{-1}), a legalacsonyabbat a kontroll és a 2. kezelésben kaptuk (149-192 g növény^{-1}), míg a 3., a 4., és az 5. kezelés alkotta a közbülső értékeket. 2007-ben, a különböző kezelésekben kapott szárazanyag produkció értékei jóval szűkebb határok között változtak, a legmagasabb szárazanyag produkciót az 5. és a 3. kezelésben (203 és 230 g), a legalacsonyabbat a 6. és a kontroll kezelésben kaptuk (176 és 177 g).

A görbék lefutását vizsgálva látható, hogy hosszú ideig tartó lineáris növekedési szakasz 2005 és 2006-ban alakult ki. A 2007-es aszályos évben, a magas átlaghőmérséklet hatására, a növekedési görbe 2-3 héttel korábban érte el a maximum értékeket. A vetés utáni 114. nap körül, a növekedési időszakban egy törést figyelhettünk meg, s ettől az időponttól kezdődően már nem volt további szárazanyag beépülés az 1., a 2. és a 6. kezelésben, míg a 3., a 4., az 5. és a 7. kezelésben ez tovább folytatódott. 2005 és 2006-ban a kontroll kezelésben volt a növekedés sebessége és időtartama a legkisebb, és a nagyarányú műtrágyakezelésben a legnagyobb, ezzel szemben 2007-ben a nagyadagú istállótrágya kezelésben kaptuk a legmagasabb eredményeket. A statisztikai értékelés során 2005-ben és 2006-ban szignifikáns különbséget állapítottunk meg a kezelések között ($P \leq 0,05$ szinten), míg 2007-ben nem különbözött szignifikánsan a növényenkénti összes szárazanyag a trágyázási kezelések hatására.



5.9. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény összes szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A Hunt-Parsons modell alapján

A Hunt-Parsons program harmadfokú függvénnyel jellemezte az összes szárazanyag-produkció dinamikáját minden évben és minden kezelésben. A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény összes szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével, az *5.9. B ábra* mutatja.

Látható, hogy a három vizsgált év növekedési görbéje hasonló lefutású, ám részletes vizsgálatuk fontos különbségeket tár fel, amelyek megmutatják a különböző trágyázási kezelések és az eltérő évjárat hatásait a növény növekedésére. 2005 és 2006-ban jól elkülönültek a különböző kezeléshatások, míg az aszályos 2007 évben kapott szárazanyag produkció értékek, jóval szűkebb határok között változtak.

A függvényillesztés után kapott eredmények alapján, 2005-ben a kontroll kezelésben volt szignifikánsan a legalacsonyabb a szárazanyag produkció (145 g), a legmagasabb a 7. kezelésben (308 g), és a 3., 4., és 5. kezelésben kaptuk a közbülső értékeket (243-267 g). 2006-ban szintén a kontroll kezelésben kaptuk a legalacsonyabb szárazanyag produkciót (150 g), a legmagasabbat pedig a 7. kezelésben (267 g). Az 5. kezelés maximális értéke (197 g) elmaradt a 2. és a 3. kezelés értékeitől (213 és 223 g), és a 4. és a 6. kezelés értékei szignifikánsan megegyeztek (244 és 249 g). 2007-ben a legmagasabb szárazanyag produkciót a 3., 5. és 2. kezelésben (200-212 g), a legalacsonyabbat a 6. és a kontroll kezelésben kaptuk (178 és 181 g), a 4. és 7. kezelésben kapott maximális szárazanyag értékek pedig megegyeztek (185 g).

A görbék lefutását vizsgálva látható, hogy 2005-ben, az optimális csapadék ellátottságnak köszönhetően, a növekedési időszak végén a görbe nem mutatott maximum pontot, a növekedés minden kezelésben tovább folytatódott. A szárazabb 2006-os évben, a növekedési időszak végén a szárazanyag beépülés mindegyik trágyakezelésnél a maximum elérése után határozottan csökkent. A 2. kezelés esetében a növények növekedése már 10-12 nappal korábban befejeződött. A 2007-es, aszályos évjáratban a szárazanyag produkció maximum értékei az 1., 2. és 3. kezelésekben magasabbak voltak és a növény 2 héttel korábban érte el, mint a kedvező évjáratban. A 3. és a 4. kezelés esetében kismértékű csökkenés után növekedés következett be a tenyészidőszak vége felé. A statisztikai értékelés során mindhárom évben szignifikáns különbséget állapítottunk meg a kezelések között.

5.3.2. A növényenkénti szemtermés-produkció dinamikája

A mért értékek alapján

A trágyakezelések és az évjárat hatását a kukoricaszem szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével az *5.10.A ábra* mutatja. Kísérletünkben a vetés utáni 79-88. napon történt mintavétel alkalmával tudtuk először mérni a szemtermés száraztömegét. A szemek asszimiláta felvétele a fekete réteg kialakulása után fejeződött be, amikor áthatolhatatlan sejtréteg jött létre a szem alapi része és a csutka között.

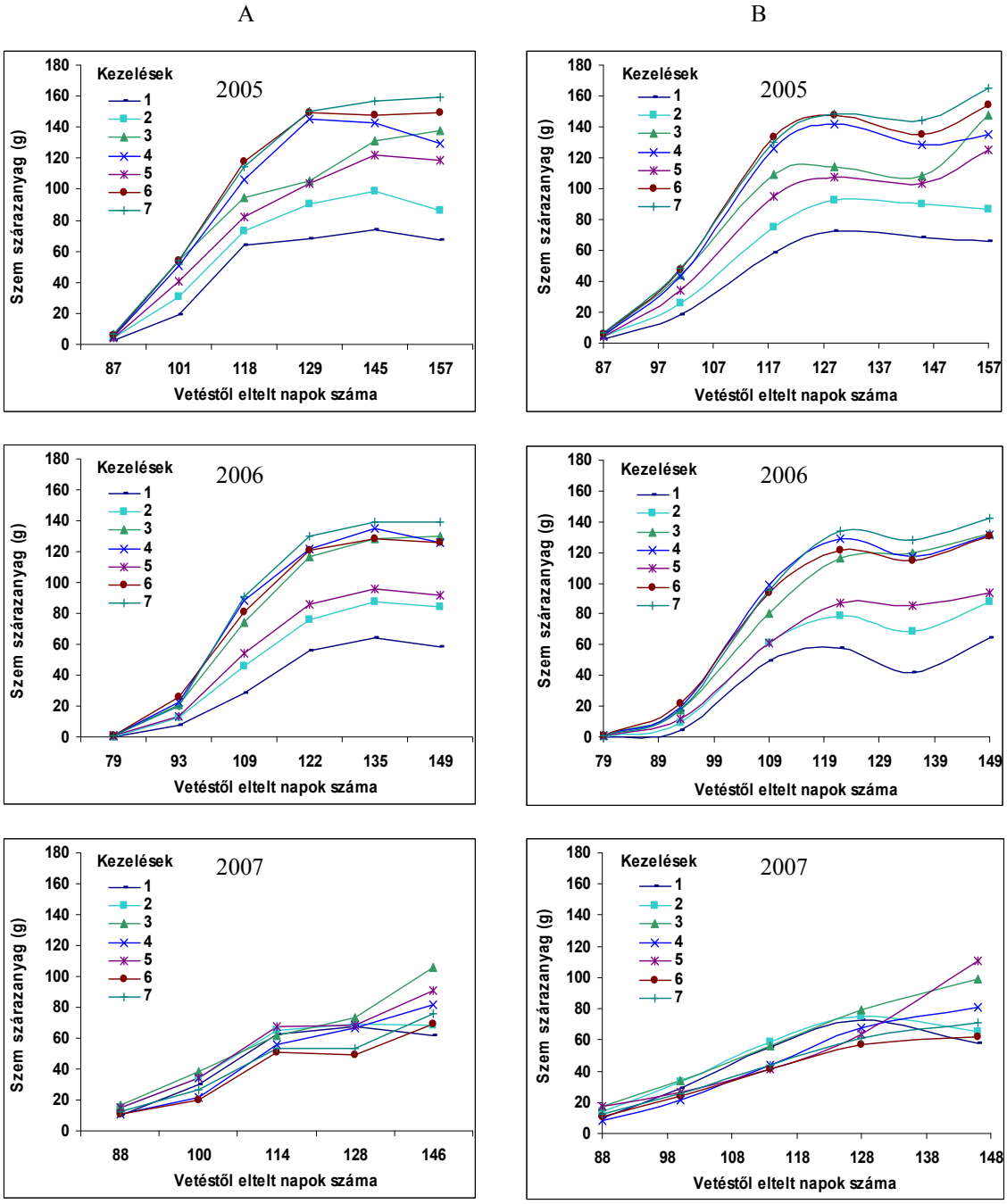
A növényenkénti szem szárazanyag felhalmozódása logisztikus típusú görbével jellemezhető, ahol a lineáris fázis hossza és meredeksége meghatározza a termést. Kedvező években a növekedési szakasz meredeksége és hossza magas terméseket eredményezett, aszályos évben azonban, nem tudott kialakulni a jellegzetes dinamika.

Az évjárathatást vizsgálva, aszályos évben minden kezelésben, minden mintavétel során kisebb növényenkénti szem szárazanyag tömeget mértünk, mint csapadékos években, kivéve a kontroll kezelés esetében, ahol a szem szárazanyag tömege kismértékben emelkedett 2007-ben, a 2006-os év eredményeihez képest. 2005-ben és 2006-ban a növényenkénti szem szárazanyag tömeg a maximumát a 7. kezelésben érte el (159,27 és 139,5 g), míg 2007-ben a 3. kezelésben (105,43 g). Mindhárom évben a legkisebb szem szárazanyag tömeget a kontroll kezelésben kaptuk (64,34 - 74,15 g).

A Hunt-Parsons modell alapján

A trágyakezelések és az évjárat hatását a kukoricaszem szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével az *5.10.B ábra* mutatja.

A függvényillesztés eredményeként kapott szem szárazanyag beépülési dinamika, elsősorban a kedvező évjáratokban mutatott különbséget a klasszikus növekedésanalízis során kapott eredményekhez képest. 2005-ben és 2006-ban a Hunt-Parsons program harmadfokú függvénnyel illesztett értékei a fiziológiai érés előtt csökkenést mutatnak a szem szárazanyag értékekben, minden kezelésben (kivéve 2005-ben a kontroll és a 2. kezelésekben). Aszályos évben (2007) egyenletes volt a szem szárazanyag beépülés a fiziológiai érés állapotáig a 3., 4., 6. és 7. kezelésekben. Az 5. kezelésben kaptuk a legmagasabb értéket, ahol a teljes érést megelőző két hétben erőteljes szem szárazanyag növekedést tapasztaltunk, míg a kontroll és a 2. kezelés esetében csökkentek az értékek. A szemtermés dinamikájában a kezeléshatások jobban elkülönültek, mint az összes szárazanyag dinamikája esetében.



5.10. ábra. A trágyakezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a növényenkénti szemtermés szárazanyag felhalmozódásának dinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.3.3. A növényenkénti levélterület-növekedés dinamikája

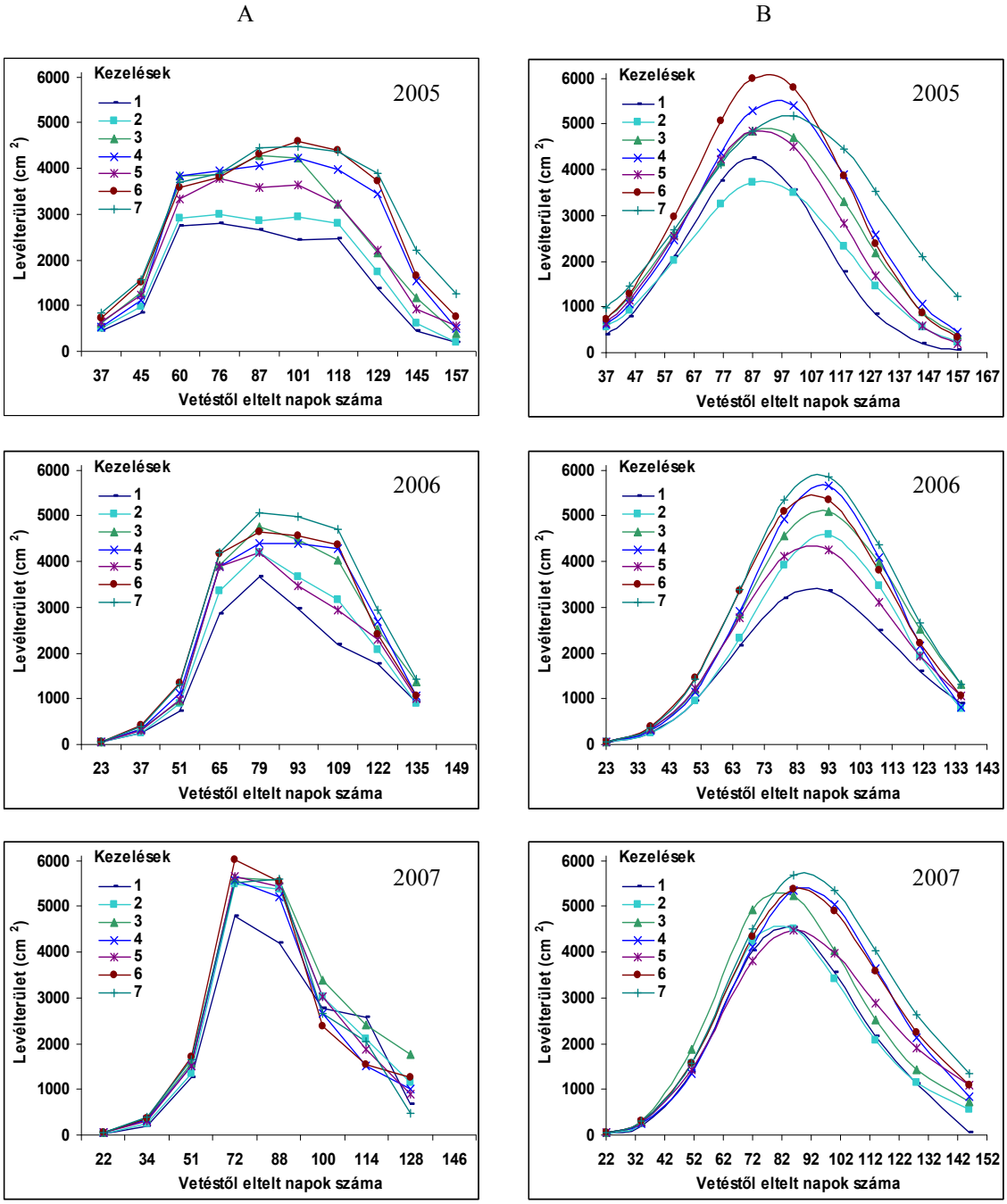
A mért értékek alapján

A levélterület növekedésének szezondinamikáját három szakasz jellemzi, a növekedés sebességének fokozódása a maximumig, ezt követően egy stagnáló szakasz, majd fokozatos csökkenése, egészen a növekedés befejeződéséig, azaz a 0 pont eléréséig. A trágyakezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterületének szezondinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével az *5.11.A ábra* mutatja.

A levélterület növekedésének szezonális dinamikájával jól jellemezhettük a trágyakezelések és az évjárat hatását is. A levélterület szezonális dinamikájában (a szárazanyag dinamikájához hasonlóan), 2005-ben és 2006-ban a hét trágyakezelés hatása jól elkülöníthető volt, míg 2007-ben a kezelések közötti különbségek lecsökkentek. 2005-ben a különböző trágyakezeléseket kapó növények, különböző időpontban érték el a maximális levélterületüket. Az 1. és 2. kezelésekben már a hímvirágzás körül (vetés utáni 60. nap) befejeződött a levélterület növekedése, míg a 6. és 7. kezelésekben ez a folyamat a szemek tejes érésének idejéig (vetés utáni 100. napig) folytatódott. 2005-ben a levélterület maximális értékei minden kezelésben öt-hat hétig tartósan megmaradtak, ami biztosította az ideális körülményeket a termés kialakulásához. 2006-ban a levélterület növekedése minden kezelésben közel azonos időpontban fejeződött be, a nővirágzás után (vetés utáni 78-84. nap között). 2006-ban az 1., 2. és 5. kezelésekben a levélterület maximális értékei csak két hétig maradtak fenn, míg a többi kezelés esetében, majd négy héten keresztül. 2007-ben szintén minden kezelésben közel azonos időpontban érték el a növények a maximális levélterületet, a hímvirágzás idején (vetés utáni 70-75. nap között), ám a 2007 nyarán bekövetkezett csapadékhiány és légköri aszály következtében a zöld levélzet gyorsan száradásnak indult, ami jelentős hatással volt a termésképződésre.
A varianciaanalízis a levélterület értékek szignifikáns különbségét mutatta ki a különböző kezelésekben, minden vizsgált évben.

A Hunt-Parsons modell alapján

A Hunt-Parsons program 2005-ben másodfokú, 2006-ban másod- és harmadfokú, 2007-ben harmadfokú függvényt illesztett a levélterület növekedési és csökkenési dinamikájához. A trágyakezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterületének szezondinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével az *5.11.B ábra* mutatja.



5.11. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukorica növényenkénti levélterületének szezondinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A funkcionális növekedésanalízis alkalmazásakor 2005-ben a 2. kezelésben kaptuk a legalacsonyabb maximális levélterület értéket (3716 cm^2), ezt felülmúlta a kontroll kezelés értéke (4241 cm^2), és a 6. kezelésben volt a legmagasabb (5990 cm^2). 2006-ban a levélterület maximális értékei között nagyobb volt különbség, a kontroll kezelés legalacsonyabb értéke (3353 cm^2), és a 7. kezelés legmagasabb maximális levélterület értéke (5845 cm^2) között. 2007-ben szintén a 7. kezeléshez illesztett görbe maximum értéke volt a legmagasabb (5690 cm^2), amelyet a 6. és 4. kezelés szignifikánsan nem eltérő eredménye (5364 és 5347 cm^2) követett. A 2. és 3. kezelés levélterület dinamikájának görbéje kissé elkülönült a többi kezelés görbéjétől, és a maximális értéket 10-12 nappal korábban mutatta.

A szerves- és műtrágya hatása a levélterület maximumára és a cső melletti levél területére

Az *5.4. táblázat* mutatja a trágyázási kezelések hatását a kukorica növény összes levél területének maximumára és a cső melletti levél területére, eltérő évjáratokban. A L_{Amax} értéke a kezelések átlagában 2005-ben volt a legkisebb: 3584 cm^2, nőtt volt 2006-ban: 4065 cm^2, és 2007-ben volt a legnagyobb: 5272 cm^2, növényenként. A 2007. évi kiemelkedően nagy levélterületeket a június hónapban hullott 60 mm csapadék, és az átlagosnál 2 °C-kal melegebb klimatikus viszonyok okozhatták. A kukorica növény cső melletti levelének eredményei a kezelések átlagában követték az L_{Amax} értékének az alakulását (2005-ben 514 cm^2, 2006-ban 544 cm^2, 2007-ben pedig 628 cm^2 volt), tehát szoros összefüggést állapíthattunk meg e két levélterület érték között.

Mindhárom vizsgálati évben szignifikáns különbséget lehetett kimutatni a trágyázási kezelések között, de a szignifikánsan azonos kezelések csoportjai különböztek. Aszályos évjáratban (2007) csak a kontroll kezelés L_{Amax} értéke volt kisebb, a hat trágya kezelés levél terület értékei szignifikánsan megegyeztek. Hasonló eredményt kaptunk kedvező csapadék-ellátottság mellett is (2005), akkor azonban a 2. kezelés L_{Amax} értéke szignifikánsan megegyezett a kontroll kezelés értékével. 2006-ban, jobban elkülönültek a kezeléshatások, szignifikánsan a legkisebb L_{Amax} értéket a kontroll kezelésben, legnagyobbat a 7. kezelésben kaptuk. A 3., 4., és 6. kezelésekben, valamint a 2. és 5. kezelésekben szignifikánsan megegyező levélterület maximum értékeket kaptunk.

Minden évjáratban a kontroll kezelésben mértük szignifikánsan a legkisebb cső melletti levélterület értékeket, s szignifikánsan megegyeztek a 6., 7. és 3. kezelésekben kapott cső melletti levélterület értékek. Mind a maximális levélterületet, mind az azonos időpontban mért cső melletti levélterületet jelentős mértékben befolyásolta az évjárat hatás, s az évek között szignifikáns különbség volt.

5.4. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukorica növény összes levél területének maximumára és a cső melletti levél területére, eltérő évjáratokban (2005-2007)

	Összes levél területének maximuma [cm^2 növény^{-1}]			**Cső melletti levél területe [cm^2 levél^{-1}]**		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**	**2005**	**2006**	**2007**
1	2808,92 b†	2953,09 d	4203,92 b	432,17 d	441,25 c	561,83 c
2	2980,43 b	3664,50 c	5365,08 a	484,33 c	554,00 ab	636,17 ab
3	3867,17 a	4471,08 b	5571,75 a	541,26 a	575,59 ab	652,33 a
4	3943,00 a	4381,25 b	5206,17 a	537,46 ab	545,25 ab	608,75 b
5	3772,75 a	3467,67 c	5427,83 a	518,65 b	534,42 b	645,00 a
6	3811,50 a	4550,92 b	5547,00 a	540,34 ab	568,08 ab	642,17 a
7	3902,67 a	4968,83 a	5584,58 a	545,87 a	590,67 a	651,33 a
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***	***	***
	$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 412,44***			$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 35,62^{+}		

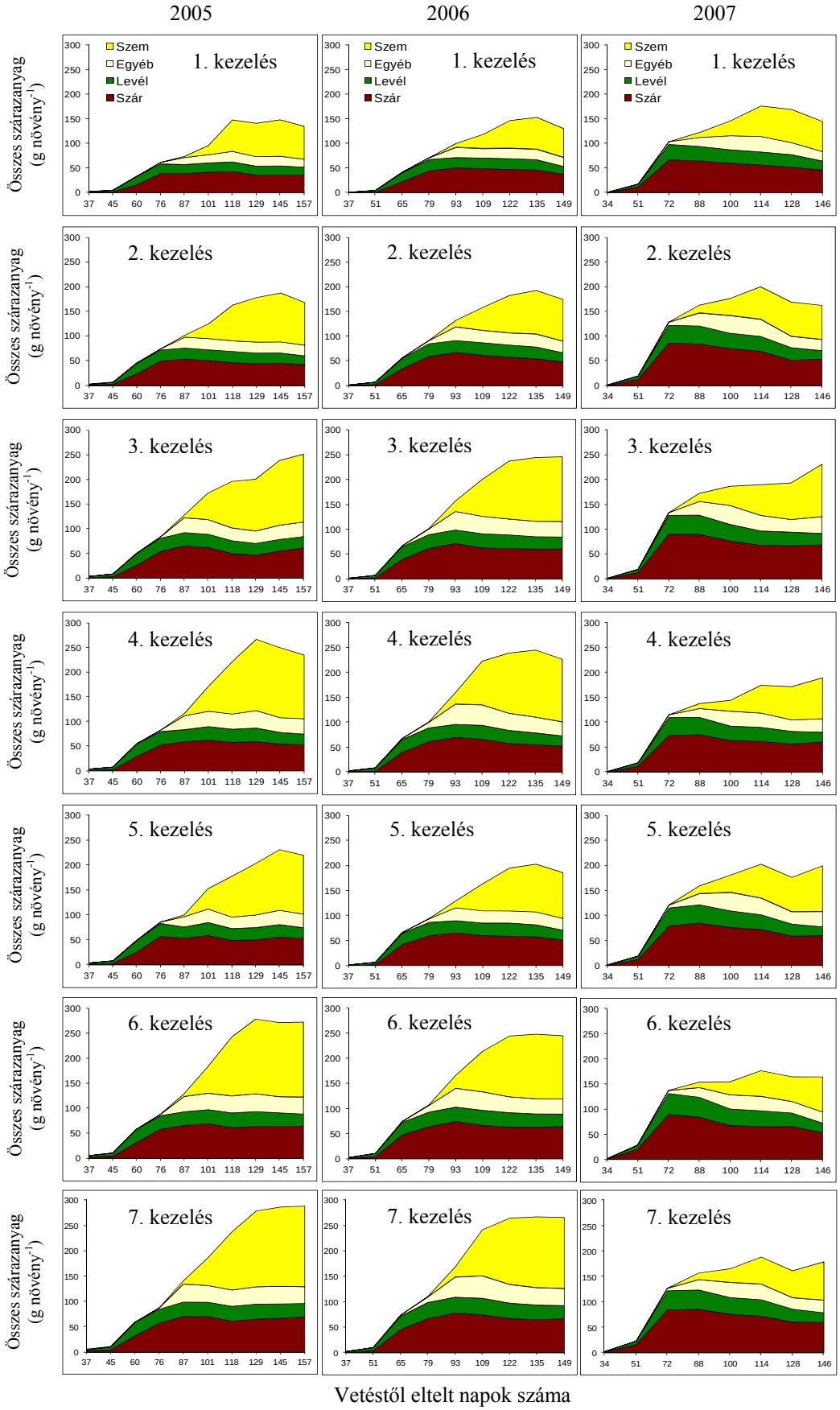
Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, $^{+}$P=10%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.3.4. A szárazanyag-produkció növényi részek szerinti megoszlása

Az asszimiláták növényi részek közötti megoszlásának kifejezésére használt különböző mutatók (harvest index, összes gyökértömeg/összes földfölötti produkció aránya, allometrikus korrelációk stb.) hozzájárulhatnak a terméskomponensek közötti kölcsönhatások jobb megértéséhez, az eredményesebb agronómiai stratégiák kialakításához a termésnövelés érdekében, valamint a termésre szelektálás különböző módszereinek sokoldalúbb értékeléséhez.

Az évjárat és a trágyázási kezelések hatását a szárazanyag produkció növényi részek (levél, szár, szem és egyéb) közötti megoszlásának szezonális dinamikájára az *5.12. ábra* mutatja be.

A grafikonokon jól megfigyelhető a különböző növényi komponensek tipikus növekedési dinamikája. A vegetatív növekedési időszakban (a vetés utáni 87-93. napig) a levelek, a szár és az egyéb növényi részek (csőszár, csuta, csuhé, címer) növekedése a meghatározó. Virágzás után a növény az asszimiláták egyre nagyobb részét használta fel a szem képzéséhez, s a többi növényi rész száraztömege állandósult. A grafikonok jól szemléltetik az eltérő évjáratok hatását is a különböző növényi részek mennyiségére, valamint relatív arányuk változására.



5.12. ábra. Az évjárat (2005-2007) és a trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a szárazanyag produkció növényi részek közötti megoszlásának dinamikájára.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Kedvező évjáratokban nagymértékű volt a trágyázás hatása a növényi komponensek szárazanyag-beépülésére, míg aszályos évjáratban nem találtunk lényeges különbséget a különböző trágyakezelések között. Ekkor a szár+címer+egyéb növényi részek tömege kismértékben nőtt, míg a szem tömege jelentősen csökkent, a kedvező évjáratban kapott értékekhez képest. 2005-ben és 2006-ban a 4. kezelésben mértük a legnagyobb növényenkénti szem száraztömeg arányt (57 és 55 %) és a kontroll kezelésben a legkisebbet (50 és 42 %). Aszályos évben a 2. kezelésben kaptuk a legnagyobb növényenkénti szem száraztömeg arányt (41 %), ami mintegy 15 %-kal volt kevesebb a csapadékos évek eredményéhez képest, és a 6. és 7. kezelésekben a legkisebbet (30 és 33 %). A három kísérleti év átlagában is a 4. kezelés hatására kaptuk a legnagyobb növényenkénti szem száraztömeg arányt (50,2 %).

2005-2006-ban a betakarítás körüli időszakban a növényenkénti szem száraz tömegének aránya (42-57 %) közel duplája volt a szár száraz tömegének (23-30 %), míg a 2007-es aszályos évjáratban a szem tömege megegyezett a szár tömegével (30-40 %). Csapadékos évjáratban a szár tömegének százalékos aránya a különböző kezelésekben 22-30 %, a levél aránya 10-14 %, a szem aránya 42-55 %, és az egyéb növényi részek aránya 12-14 % volt. Aszályos évben ez a következőképpen alakult: a szár aránya 30-40 %, a levél aránya 14-16 %, a szem aránya 30-41 % és az egyéb növényi részek aránya 13-15 % volt. A szem aránya tehát jelentősen csökkent, míg a többi növényi rész aránya nőtt.

5.3.5. A szárazanyag-produkció megoszlása a kukorica cső és az egész növény száraztömege között

Mindhárom évben két időpontban állapítottuk meg a kukorica cső és az egész növény száraztömege közötti arányt, az allokációt. A méréseket a nővirágzást követően 15-20, illetve 28-32 nappal végeztük. Az *5.5. táblázat* adatai mutatják a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukorica cső és az egész növény száraztömege közötti arányra. Ez alapján megállapíthatjuk, hogy az összes szárazanyag produkcióból mennyi jut át az érés során a csőbe.

Az eredmények jól mutatják, hogy kedvező évjáratban a szárazanyag beépülés alacsonyabb a kontroll kezelésben, mint a trágyázott kezelések esetében. A száraz, 2007-es évben az alacsonyabb trágya adagoknak volt kedvezőbb hatása, a magasabb dózisoknál csökkent a hatékonyság, mert a tápanyagok a vízhiány miatt nem tudtak hasznosulni.

5.5. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a kukorica cső száraztömege ($W_{CSŐ}$) és az egész növény száraztömege ($W_{ÖSSZES}$) közötti arányra

Kezelés	$W_{CSŐ}/W_{ÖSSZES}$ [vetéstől eltelt napok száma]					
	2005		2006		2007	
	87. nap	101. nap	79. nap	93. nap	86. nap	100. nap
1	0,1059	0,2444	0,0002	0,0752	0,1525	0,2943
2	0,1314	0,2759	0,0037	0,1297	0,1584	0,3113
3	0,1362	0,3893	0,0319	0,2297	0,2251	0,2847
4	0,1339	0,3671	0,0197	0,2148	0,1351	0,2654
5	0,1233	0,3457	0,0154	0,1627	0,1699	0,2378
6	0,1428	0,3751	0,0304	0,2285	0,1379	0,2628
7	0,1459	0,3642	0,0170	0,1922	0,1387	0,2521

A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.4. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényegyedek növekedési mutatóira

5.4.1 Az összes szárazanyag abszolút növekedési sebessége (AGR)

A mért értékek alapján

Az *5.13.A. ábra* mutatja be a trágyakezelések és az évjárat hatását a kukorica növény abszolút növekedési sebességének dinamikájára, a mért adatok alapján.

A tipikus AGR görbét a száraz, 2007-es évjáratban figyelhettük meg, míg 2005-2006-ban a maximum érték elérését követő csökkenés kisebb mértékű volt, és jelentősebb ingadozást mutatott. 2007-ben, a különböző kezelésekben kapott abszolút növekedési sebesség maximális értékeire is jellemző volt, hogy szűkebb értékhatárok között változtak, mint 2005 és 2006-ban.

Az AGR maximum és átlagos értékeinek alakulását a szerves- és műtrágyázás, valamint az évjárat hatására a vegetatív növekedési időszakban, az *5.6. táblázat* tartalmazza. A mért adatok alapján kapott AGR értékeket a virágzás időszakáig lehet megfelelően értékelni, ezért a mutató átlag értékeit a vetéstől számított 60-72. napig számoltuk ki. Aszályos évben a trágyázásnak nem volt statisztikailag igazolható hatása az $AGR_{átl}$ értékeire.

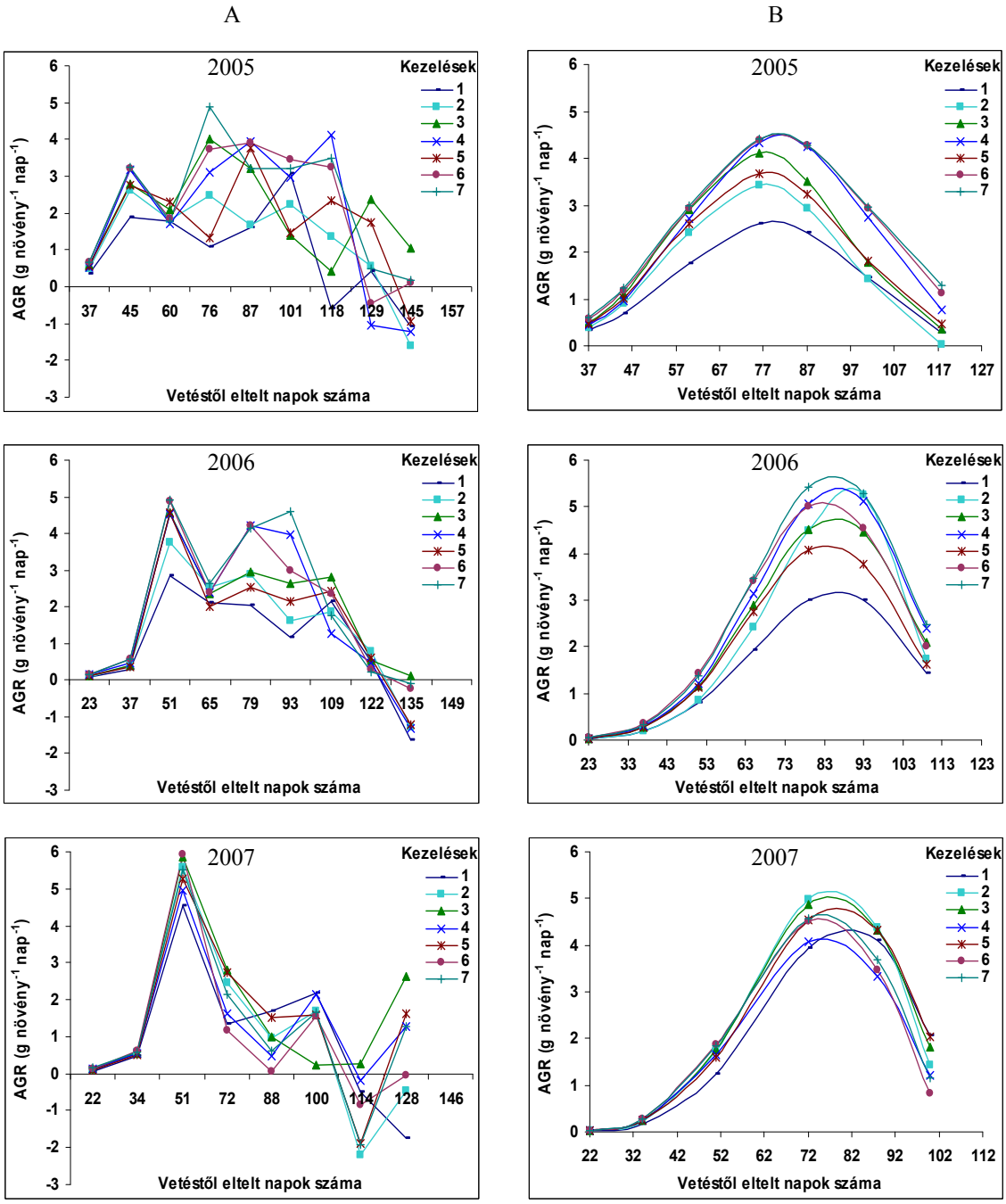
5.6. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a szárazanyag abszolút növekedési sebességének (AGR) átlag és maximum értékeire a kukoricanövény virágzásáig

Kezelés	Szárazanyag abszolút növekedési sebessége (AGR) [g növény^{-1} nap^{-1}]					
	2005		2006		2007	
	Átlag	Max.	Átlag	Max.	Átlag	Max.
1	1,34 c †	1,90 c	1,33 d	2,85 b	1,60	4,53 c
2	1,64 b	2,31 bc	1,70 c	3,77 ab	2,18	5,58 ab
3	1,83 ab	2,80 ab	1,86 abc	4,56 a	2,32	5,85 ab
4	1,80 ab	3,17 a	1,88 abc	4,53 a	1,81	4,97 bc
5	1,87 a	2,83 a	1,77 b	4,57 a	2,16	5,27 abc
6	1,91 a	3,20 a	2,00 ab	4,89 a	1,97	5,95 a
7	1,89 a	3,24 a	2,06 a	4,90 a	2,09	5,50 ab
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	*	NS	*

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ $AGR_{átl} = 0,32^{NS}$

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ $AGR_{max} = 0,88^{NS}$

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál



5.13. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény összes szárazanyagának abszolút növekedési sebességére (AGR)
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az abszolút növekedési sebesség maximum értékei 2005-ben voltak a legalacsonyabbak, minden trágyakezelésben (1,90-3,24 g növény^{-1} nap^{-1}). Az AGR maximumok nőttek 2006-ban (2,85-4,90 g növény^{-1} nap^{-1}), és 2007-ben voltak a legmagasabbak (4,53-5,95 g növény^{-1} nap^{-1}). 2007-ben, az AGR maximális értékeire is jellemző volt, hogy szűkebb értékhatárok között változtak, mint 2005 és 2006-ban. Szignifikáns különbséget kaptunk az AGR értékek között az évjáratok, és a különböző trágyakezelések esetében is.

A Hunt-Parsons modell alapján

Az abszolút növekedési sebesség dinamikája harang alakú görbével jellemző, vagyis fokozatosan nő a maximumig (a levélfejlődés időszakában), majd ezt követően csökken (Berzsenyi 1996). Az *5.13.B. ábra* mutatja be a trágyakezelések és az évjárat hatását a kukorica növény abszolút növekedési sebességének dinamikájára, a függvényillesztés alapján.

A kontroll kezelés abszolút növekedési sebességének görbéje 2005-2006-ban egyértelműen elkülönült a többi trágyakezelés görbéjétől és a legalacsonyabb értékeket mutatta, míg 2007-ben a maximális AGR értéke felülmúlta a 4. kezelés értékét. Kedvező években az abszolút növekedési sebesség értékei a 6. és 7. kezelésekben voltak a legmagasabbak, aszályos évjáratban pedig, a 2. és 3. kezelésekben. A funkcionális módszerrel jól felismerhető növekedési dinamikákat lehetett kapni, amely kiszűrte a klasszikus módszernél fennálló ingadozásokat.

5.4.2. A levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR)

A mért értékek alapján

A levélterület növekedési sebességét (az AGR-hez hasonlóan) a növekedés fokozódása jellemzi a maximumig (a levélfejlődés időszakában), majd ezt követően fokozatos csökkenése, egészen a növekedés befejeződéséig, azaz a 0 pont eléréséig. Ez után a levélterület erőteljes csökkenésének időszaka következik és tart a minimum pontig, amely után a leszáradás sebessége csökken. A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a levélterület abszolút növekedési sebességére (ALGR) a növekedésanalízis klasszikus módszere alapján az *5.14.A. ábra* mutatja be.

Az abszolút növekedési sebesség maximumát minden kezelésben azonos időben mértük 2006-ban és 2007-ben, a növények 10-12 leveles fejlettségi állapotában (vetés utáni 51. napon), míg 2005-ben egy héttel korábban, 8-10 leveles állapotban (a vetés utáni 45. napon). Kedvező években a levélzet leszáradása lassabb, egyenletesebb folyamat volt, amely elősegítette a

szemtelítődést, míg a száraz 2007-es év ALGR görbéjén jól látható a levélzet gyors leszáradása (a levélterület drasztikus csökkenése) a cső növekedésének időszakában.

A levélterület abszolút növekedési sebességének (ALGR) maximum és átlagos értékeinek alakulását a szerves-, és műtrágyázás, valamint az évjárat hatására a vegetatív növekedési időszakban, az *5.7. táblázat* tartalmazza.

A mért adatok alapján kapott ALGR értékeket a levelek növekedési időszakában lehet megfelelően értékelni, ezért a mutatók átlag értékét a vetéstől számított 60-72. napig számoltuk ki. A kapott ALGR maximum értékek minden trágyakezelésben 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (127-181 cm^2 $növény^{-1}$ nap^{-1}), jelentősen nőttek 2006-ban (163-229 cm^2 $növény^{-1}$ nap^{-1}), míg 2007-ben az 1. és 2. kezelések kivételével, kismértékben csökkentek (167-205 cm^2 $növény^{-1}$ nap^{-1}). Az ALGR értékek szignifikánsan eltértek az évjáratok és a különböző trágyakezelések esetében is, kivéve 2007-ben, amikor a maximális ALGR értékek szignifikánsan nem különböztek egymástól.

5.7. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a levélterület abszolút növekedési sebességének (ALGR) átlag és maximum értékeire a növekedési időszakban

Kezelés	Levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR) [cm^2 $növény^{-1}$ nap^{-1}]					
	2005		2006		2007	
	Átlag	Max.	Átlag	Max.	Átlag	Max.
1	59,97 c †	127,01 b	68,28 c	163,37 c	50,63 c	167,28
2	64,90 b	127,42 b	77,84 b	190,65 bc	67,74 ab	196,68
3	85,02 a	170,13 a	88,69 ab	228,81 a	71,59 ab	193,67
4	86,97 a	181,30 a	82,32 b	213,96 ab	65,27 b	193,22
5	80,74 a	139,03 b	78,99 b	222,17 a	68,43 ab	196,33
6	83,26 a	137,66 b	86,62 ab	217,10 ab	68,96ab	205,44
7	82,49 a	142,01 b	94,12 a	221,18 a	72,90 a	183,91
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	**	***	NS

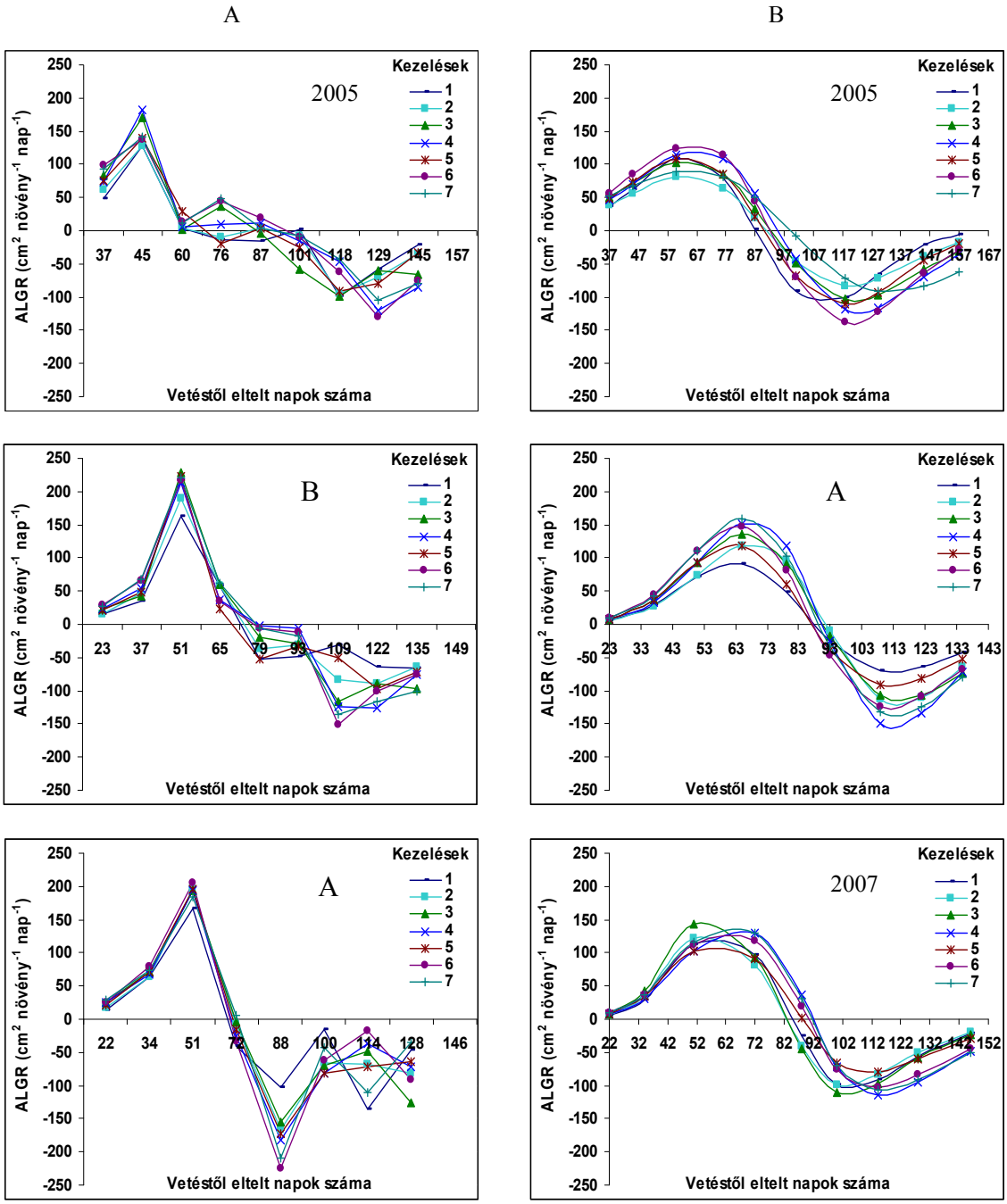
$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ $ALGR_{átl}$ = 8,16 *

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ $ALGR_{max}$ = 26,0 *

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A Hunt-Parsons modell alapján

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a levélterület abszolút növekedési sebességére (ALGR) a növekedésanalízis funkcionális módszere alapján az *5.14.B. ábra* mutatja be.



5.14. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény levélterületének abszolút növekedési sebességére (ALGR)
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az abszolút növekedési sebesség dinamikáját két harang alakú görbe írja le, az első a levélterület növekedését mutatja, a második a levélterület leszáradását. Az ALGR maximum értékeket kedvező évjáratokban minden kezelésben azonos időben kaptuk, míg aszályos évben a 2. és a 3. kezelés esetében, majd két héttel korábban a többi kezeléshez képest (a vetés utáni 52. napon). 2006-ban a levélterület növekedése minden kezelésben közel azonos időpontban fejeződött be, a vetés utáni 88-93. nap között. Kedvező évjáratban a levélterület növekedése tovább tartott, leghamarabb a kontroll kezelésben fejeződött be, legkésőbb pedig a 7. kezelésben. A két szélső értéket képviselő kezelést kapott növények leszáradásának kezdete között két hét különbséget figyelhettünk meg (a vetés utáni 87. vs. 100. nap). Kedvezőtlen évben hamarabb, a vetés utáni 82-91. nap között befejeződött a levélterület növekedése. 2007-ben az alacsony, ill. a magas hatóanyag-tartalmú kezelések két csoportot alkottak és hasonló leszáradási görbét mutattak.

5.4.3. Az összes szárazanyag és a levélterület relatív növekedési sebessége (RGR, RLGR)

A mért értékek alapján

A relatív növekedési sebességet komplex ontogenetikai drift jellemzi, s ennek következtében rendkívül nehéz a környezeti változások relációjában vizsgálni (Lap, 1992). A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény relatív növekedési rátájának (RGR) és a levélterület relatív növekedési rátájának (RLGR) átlag értékeire a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában, az *5.8. és 5.9. táblázat* mutatja.

A mért adatok alapján kapott RGR értékeket a vegetatív növekedés fázisában értékeltük, ezért a mutatók átlag értékét a vetéstől számított 79-88. napig számolta ki a program (Hunt et al. 2002). Az RGR átlag értékek, a kezelések átlagában 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (0,0686 g g^{-1} nap^{-1}), 2006-ban és 2007-ben szignifikánsan magasabb RGR átlag értékeket kaptuk (0,1057 és 0,1080 g g^{-1} nap^{-1}). A kedvező, és az aszályos évjáratban is az 5., 6., 7. kezelésekben volt a legalacsonyabb az RGR értéke, míg a 2., 4. kezelésben a legmagasabb, tehát az évjárat nem befolyásolta a különböző kezelések hatását az RGR átlag értékére. 2006-ban az 1. és 3. kezelésekben kaptuk a legalacsonyabb, és a 4., 5., 7. kezelésekben a legmagasabb átlagos RGR értékeket.

Az RLGR átlag értékei szignifikánsan a legmagasabbak 2007-ben voltak (0,0929-0,1093 mm^2 mm^{-2} nap^{-1}), a legalacsonyabbak pedig 2005-ben (0,0328 - 0,0505 mm^2 mm^{-2} nap^{-1}). 2005-ben és 2006-ban szignifikáns különbség volt a kezelések átlag RLGR értékei között, 2007-ben viszont a hét kezelés értékei között nem volt szignifikáns különbség.

5.8. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a szárazanyag relatív növekedési sebességének (RGR) átlag értékeire a standard hibákkal (SE), a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában

Kezelés	Szárazanyag relatív növekedési sebessége (RGR) [g g^{-1} nap^{-1}]					
	2005		2006		2007	
	Átlag	SE	Átlag	SE	Átlag	SE
1	0,0676 ‡	± 0,0057	0,1032	± 0,0040	0,1079	± 0,0081
2	0,0717	± 0,0073	0,1053	± 0,0029	0,1114	± 0,0083
3	0,0699	± 0,0042	0,1044	± 0,0026	0,1108	± 0,0029
4	0,0720	± 0,0058	0,1072	± 0,0047	0,1071	± 0,0039
5	0,0668	± 0,0067	0,1073	± 0,0054	0,1066	± 0,0034
6	0,0662	± 0,0091	0,1055	± 0,0027	0,1057	± 0,0053
7	0,0658	± 0,0054	0,1070	± 0,0027	0,1063	± 0,0018

‡Hunt et al. (2002) növekedésanalízis program alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

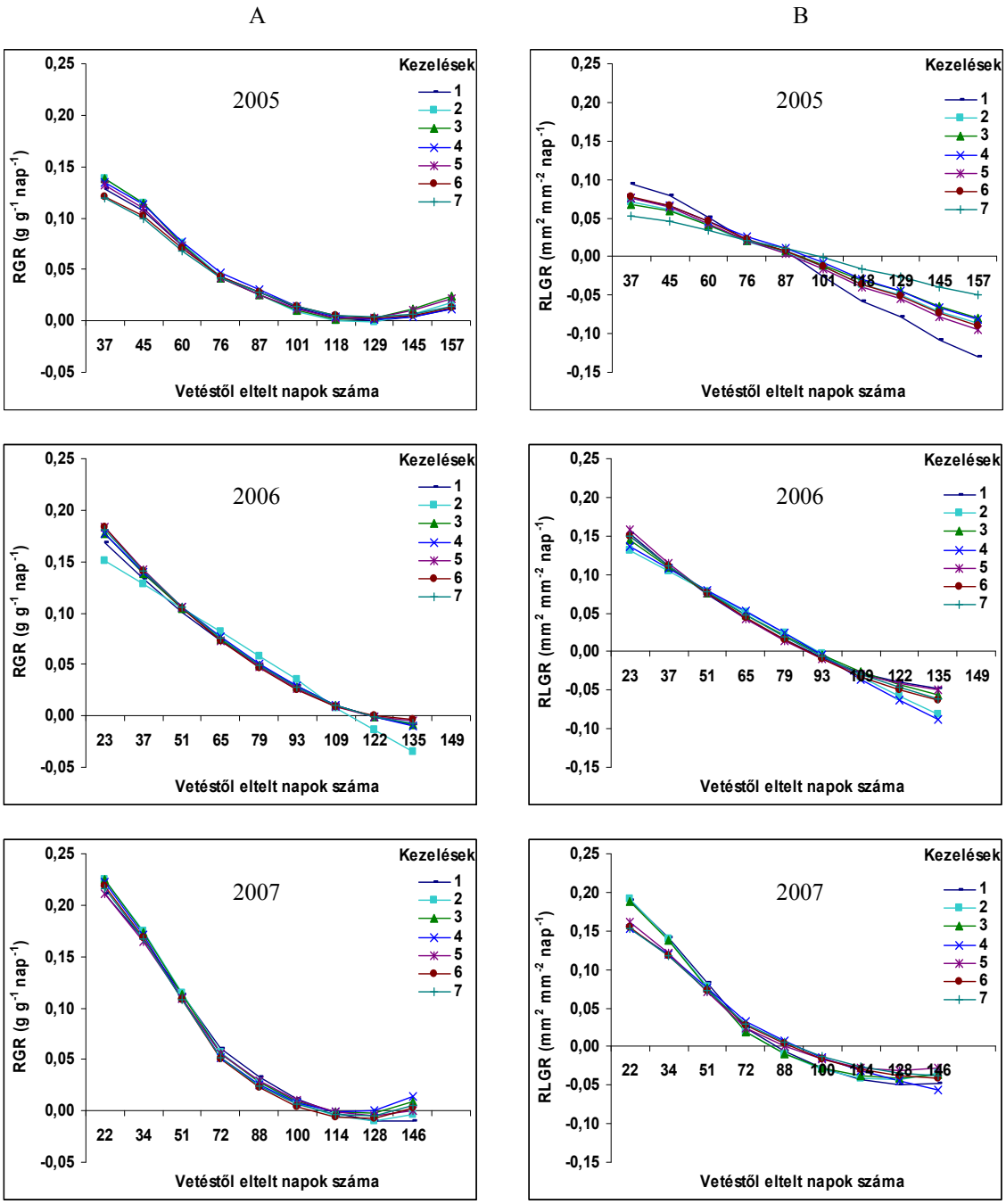
5.9. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a levélterület relatív növekedési sebességének (RLGR) átlag értékeire, a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában

Kezelés	Levélterület relatív növekedési sebessége ($RLGR_{átl}$) [mm^2 mm^{-2} nap^{-1}]		
	2005	2006	2007
1	0,0505 ‡	0,0795	0,1093
2	0,0394	0,0776	0,1072
3	0,0388	0,0795	0,1050
4	0,0447	0,0799	0,0949
5	0,0415	0,0811	0,0946
6	0,0436	0,0791	0,0929
7	0,0328	0,0808	0,0933

‡Hunt et al. (2002) növekedésanalízis program alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A Hunt-Parsons modell alapján

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény relatív növekedési rátájának (RGR) és a levélterület relatív növekedési rátájának (RLGR) szezondinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével, az *5.15. A és B ábra* mutatja.



5.15. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007)
A: a kukoricanövény relatív növekedési rátájának (RGR) és *B:* a levélterület relatív növekedési rátájának (RLGR) szezondinamikájára, a növekedésanalízis funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az RGR szezonális dinamikájára jellemző, hogy erőteljesen csökken a szemtelítődés időszakáig, majd ezt követően minden kezelésben kismértékben nő. Az RLGR szezonális dinamikája határozottan csökken egészen a növény betakarításáig, kedvező évjáratokban szinte lineáris egyenest mutatva. 2005-ben virágzásig, a kontroll kezelésben kaptuk a legmagasabb relatív levélterület növekedési sebesség értékeket és csak virágzás után tapasztaltuk a trágyázási kezelések előnyét. Az illesztett RGR és az RLGR értékek jól mutatják a szezonális dinamikát, de a trágyázási kezelések közötti különbségeket nem. A virágzás körüli időszakban minden kezelésben szignifikánsan megegyező értékeket kaptunk.

5.4.4. A nettó asszimilációs ráta (NAR)

A mért értékek alapján

Az *5.16.A ábra* szemlélteti a trágyakezelések és az évjárat hatását a kukorica növény nettó asszimilációs rátájának dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével. A NAR szezonális dinamikáját nézve, a kukoricanövény kezdeti fejlődésekor, a 6-7 leveles állapot eléréséig a NAR értékek közel állandóak, majd egy gyors növekedési szakasz figyelhető meg, a növény virágzása előtti időszakig. A nettó asszimilációs ráta maximumának elérése után gyors csökkenés tapasztalható, amit egy erősen ingadozó állapot követ a virágzás után. A NAR érték maximumát a vetés utáni 45-51. napon mértük, a kukorica 8-10 leveles fenológiai stádiumában. A NAR dinamikájában a 2005-ös évben kapott eltérést az eredményezte, hogy 2005-ben az 1. mintavétel a vetés utáni 37. napon történt, ami 2006 és 2007-ben már a 2. mintavétel volt.

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a nettó asszimilációs ráta (NAR) átlag és maximum értékeire a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában az *5.10. táblázat* mutatja be. A NAR rendkívül érzékeny mutató, ezért a mért adatok alapján kapott NAR értékeket (az AGR és RGR mutatókhoz hasonlóan), Hunt et al. programja (2002) a vetéstől számított 79-88. napig számolta ki. A NAR átlag értékek minden trágyakezelésben 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (11,68-15,06 g m^{-2} nap^{-1}), magasabb volt az értéke 2006-ban (15,37-18,39 g m^{-2} nap^{-1}), és 2007-ben kaptuk a legmagasabb NAR értéket (22,33-26,66 g m^{-2} nap^{-1}). A kapott NAR maximum értékek szintén minden trágyakezelésben 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (12,13-14,99 g m^{-2} nap^{-1}), nőttek 2006-ban (16,88-20,66 g m^{-2} nap^{-1}), míg 2007-ben, az 1-4. kezelésekben, kismértékben csökkentek, míg az 5-7. kezelésekben nőttek (16,13-21,74 g m^{-2} nap^{-1}). A szakirodalmi adatokkal megegyezően, a kapott NAR értékek szignifikáns eltérést csak az évjáratok között mutattak, a különböző trágyakezelések között nem.

5.10. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a nettó asszimilációs ráta (NAR) átlag és maximum értékeire a standard hibákkal (SE), a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában

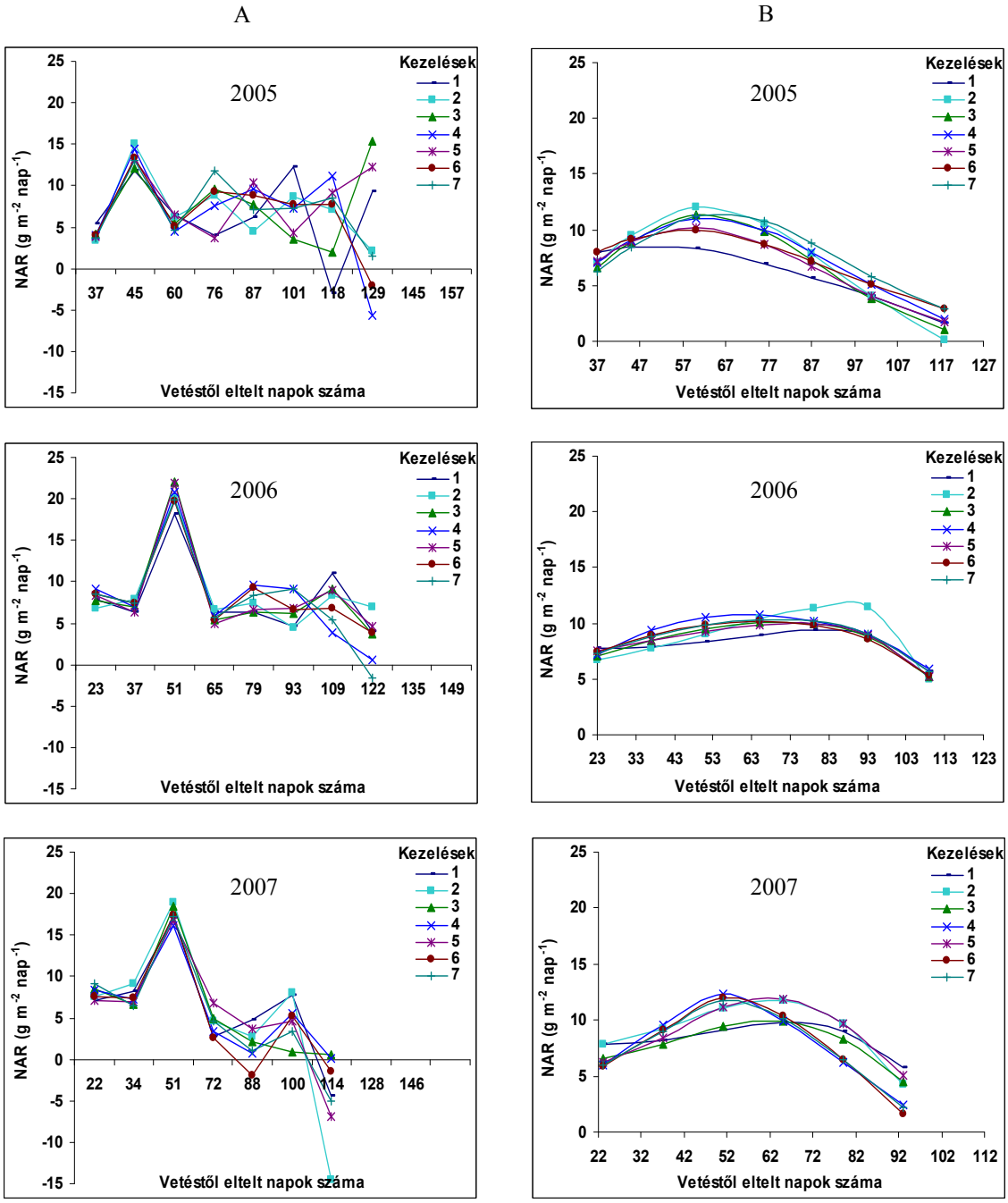
Kezelés	Nettó asszimilációs ráta (NAR) [g m^{-2} nap^{-1}]								
	2005			2006			2007		
	Átlag	SE	Max.	Átlag	SE	Max.	Átlag	SE	Max.
1	11,75 ‡	± 1,71	12,13	15,52	± 2,42	16,88	22,56	± 3,75	16,13
2	15,06	± 2,98	14,99	17,20	± 1,70	20,24	24,35	± 3,12	20,19
3	12,97	± 1,30	12,16	15,37	± 1,97	20,66	24,04	± 1,31	18,18
4	13,24	± 2,05	14,76	18,39	± 1,15	20,05	22,55	± 415	19,88
5	11,68	± 1,36	13,36	18,11	± 1,84	20,40	26,66	± 4,87	20,99
6	12,70	± 2,30	13,32	17,22	± 1,81	18,52	23,70	± 2,68	21,74
7	12,90	± 1,26	13,10	17,39	± 0,90	18,85	22,33	± 1,35	20,24

‡Hunt et al. (2002) növekedésanalízis program alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A Hunt-Parsons modell alapján

Az *5.16.B ábra* szemlélteti a trágyakezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény nettó asszimilációs rátájának dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével. Az általunk vizsgált három évben, a vegetációs idő közepén minden esetben a kontroll kezelésben kaptuk a legalacsonyabb NAR értékeket, azonban a vegetációs időszak kezdetén és végén, évjárattól függetlenül meghaladta, vagy szignifikánsan megegyezett a kontroll kezelés NAR értéke a többi kezelésben kapott NAR értékkel.

2005-ben a kontroll kezelésben már a növények 8 leveles állapotában (vetés utáni 45. napon) elérte a NAR a maximális értékét, míg a többi kezelés esetében ez a 10 leveles állapot (58. nap) körül következett be. 2006-ban a NAR pillanatnyi értékei megközelítőleg azonos értékeket mutattak hat héten át (a vetéstől számított 45-95. nap között) minden kezelésben, kivéve a 2. kezelést, ahol a NAR értéke a kukorica szemek tejes éréséig (93. napig) fokozatosan nőtt, majd hirtelen csökkent. 2007-ben a kontroll és a 3. kezelés NAR dinamikája megegyezett a kontroll kezelés 2006-ban mutatott dinamikájával. A 4., 6. és 7. kezelés estében a NAR értékei a vetés utáni 52. napig nőttek, míg a 2. és 5. kezelés esetében egészen a 70. napig. A növekedésanalízis funkcionális módszerével a NAR dinamikáját pontosabban tudtuk jellemezni és szignifikánsan elkülönülő kezeléshatásokat lehetett kimutatni.



5.16. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény nettó asszimilációs rátájának (NAR) dinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.4.5. A levélterület arány (LAR)

A mért értékek alapján

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterület arányának (LAR) dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével, az *5.17.A ábra* mutatja be. A LAR legnagyobb értékeit minden kezelésben és minden évben az első mintavételkor mértük. A LAR maximum értékek minden trágyakezelésben 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (153,1 - 170,7 cm^2 g^{-1}), nőttek 2006-ban (193,4 - 210,2 cm^2 g^{-1}), és 2007-ben voltak szignifikánsan a legmagasabbak (243,0 - 280,8 cm^2 g^{-1}). A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a levélterület arány (LAR) átlag és maximum értékeire, a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában az *5.11. táblázat* mutatja. A mért adatok alapján kapott LAR átlag értékeket a vetéstől számított 79-88. napig számolta ki a program (Hunt et al. 2002). Az évjáratok és a különböző trágyakezelések szignifikánsan befolyásolták a LAR értékét. 2005-ben, a levélterület aránya a kezelések átlagában 102,1 cm^2 g^{-1} volt, 2006-ban 132,5 cm^2 g^{-1}, 2007-ben 166,6 cm^2 g^{-1} értékkel volt jellemezhető.

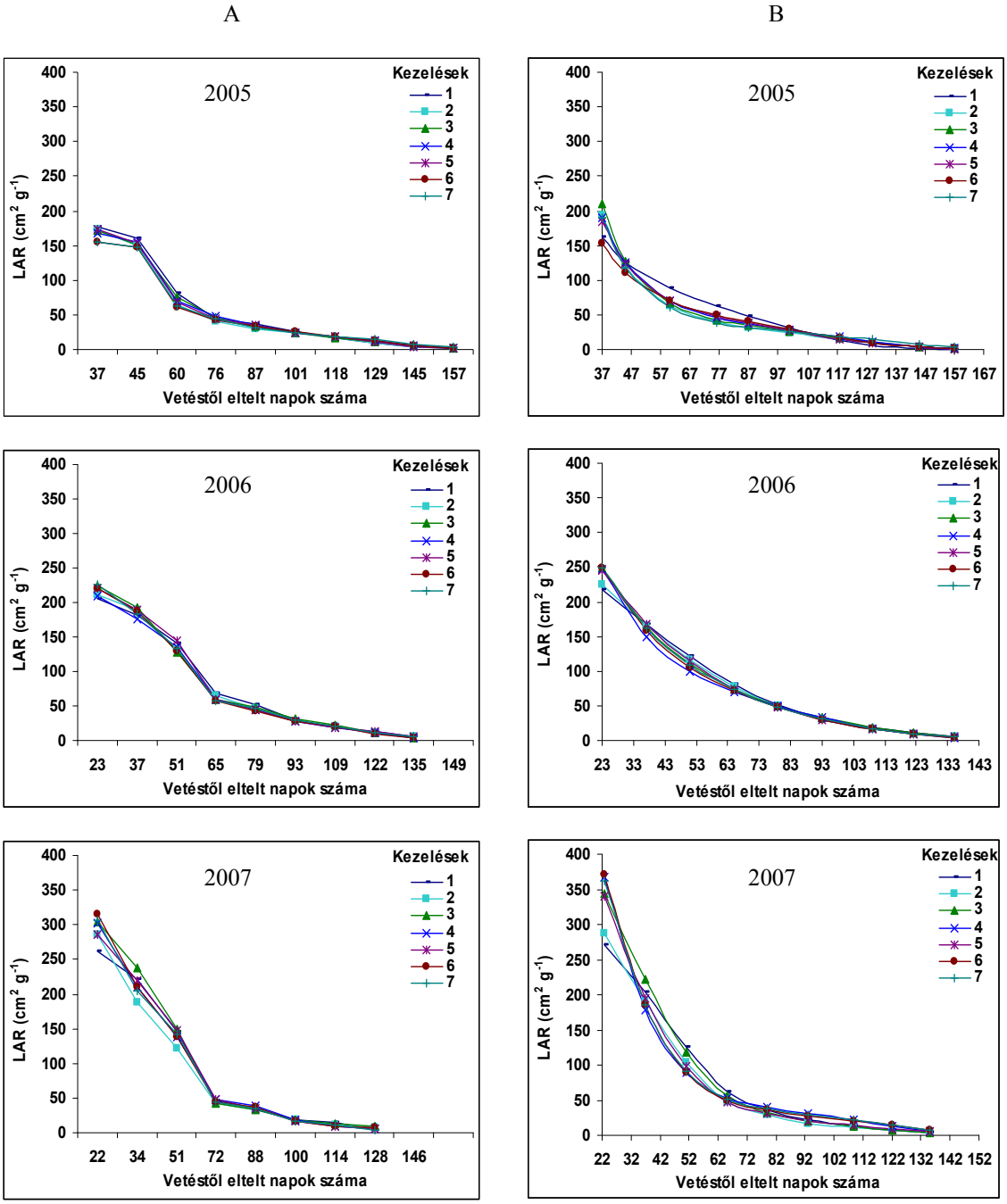
5.11. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) a levélterület arány (LAR) átlag és maximum értékeire a standard hibákkal (SE), a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában

Kezelés	Levélterület arány (LAR) [cm^2 g^{-1}]								
	2005			2006			2007		
	Átlag	SE	Max.	Átlag	SE	Max.	Átlag	SE	Max.
1	107,46‡	± 21,60	170,65	128,26	± 16,56	193,40	156,34	± 70,11	243,00
2	103,28	± 31,07	163,98	128,89	± 11,00	201,74	168,24	± 79,17	250,16
3	103,48	± 17,71	163,09	138,25	± 13,86	210,24	168,85	± 26,88	280,76
4	102,58	± 21,30	164,09	130,01	± 28,17	196,60	169,01	± 25,19	260,66
5	106,70	± 27,19	166,65	133,80	± 36,87	206,82	156,62	± 19,11	253,35
6	96,75	± 33,13	154,06	132,88	± 14,84	204,06	177,04	± 61,17	268,44
7	94,36	± 19,83	153,07	135,51	± 16,01	205,22	170,07	± 21,80	257,26

‡Hunt et al. (2002) növekedésanalízis program alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A Hunt-Parsons modell alapján

5.17.B ábra mutatja be a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterület arányának (LAR) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével. A függvényillesztéssel kapott LAR dinamika minden évben és kezelésben hasonló lefutást mutatott a klasszikus módszer LAR dinamikájával.



5.17. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény levélterület arányának (LAR) dinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A LAR szezonális dinamikájában, a kiindulási maximális érték után (amit minden évben a növények 3-4 leveles fejlettségénél mértünk), erőteljes csökkenés figyelhető meg a virágzás időszakának a végéig, majd kismértékben, egyenletesen csökkent tovább, egészen a vegetációs periódus végéig. Az első mintavételkor kapott LAR érték, évjárattól függetlenül, a kontroll kezelésben volt a legkisebb, majd a 2. mintavételtől kezdve a kontroll kezelésben kapott LAR értékek meghaladták a többi kezelésben mért értékeket. A LAR értékek között szignifikáns eltérést kaptunk az évjáratok és a különböző trágyakezelések között is. Kedvezőtlen évjáratban nagyobb különbségeket tapasztaltunk a trágyázási kezelések LAR értékei között a nővirágzás időpontjáig, mint kedvező évjáratokban.

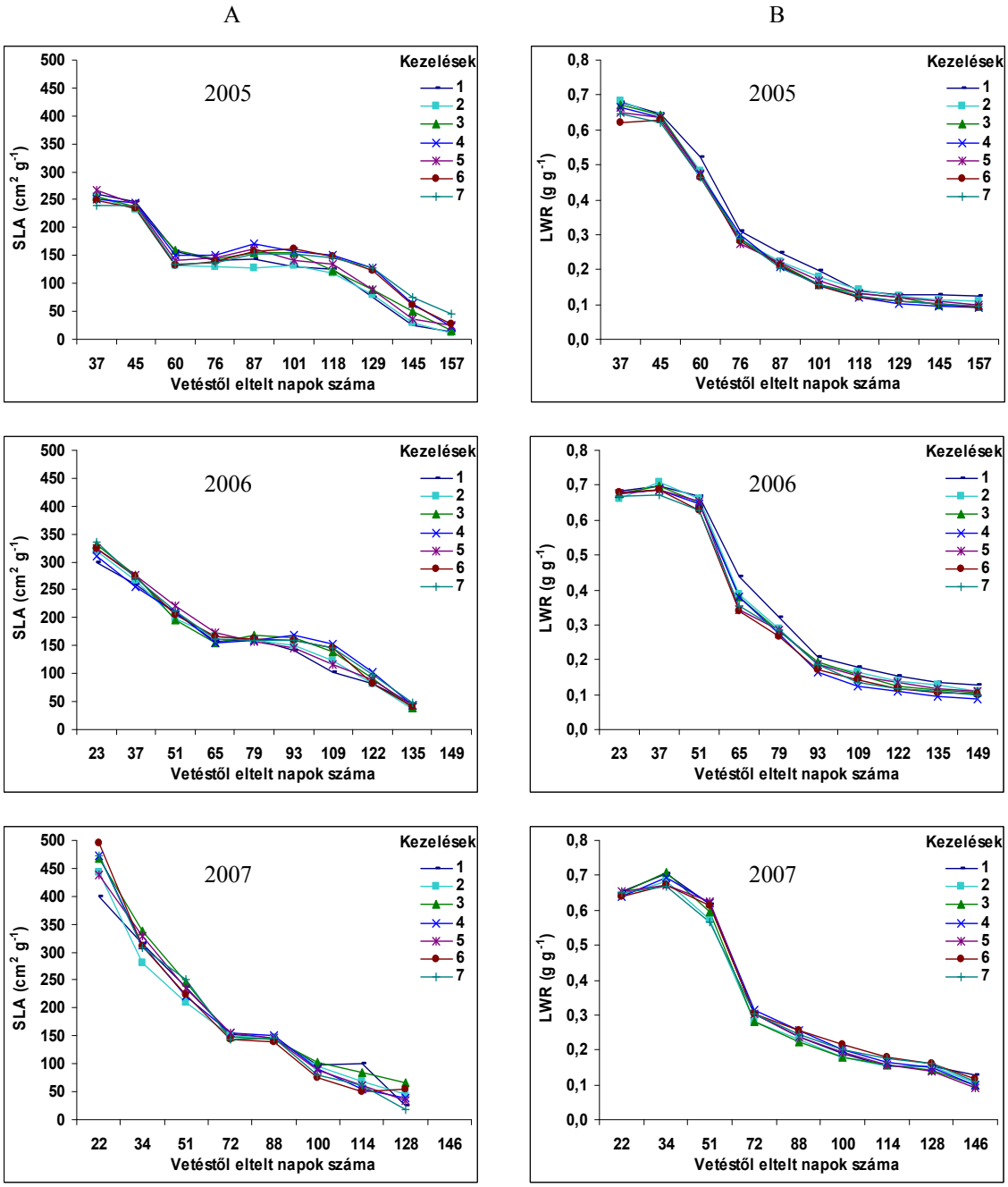
5.4.6. A specifikus levélterület (SLA) és a levéltömeg arány (LWR)

A mért értékek alapján

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény specifikus levélterületének (SLA) dinamikájára az *5.18.A ábra,* a levéltömeg arányának (LWR) dinamikájára az *5.18.B ábra* mutatja be a növekedésanalízis klasszikus módszerével.

A 3-4 leveles állapotban mért maximális SLA értékek aszályos évben voltak a legmagasabbak (400 - 495 cm^2 g^{-1}), és ekkor kaptuk a legnagyobb különbséget a kontroll kezelésben mért legalacsonyabb, és a 6. kezelésben mért legmagasabb értékek között. Kedvező évjáratban jelentősen alacsonyabbak voltak a maximális SLA értékek (2005: 240 - 267 cm^2 g^{-1}; 2006: 300 - 336 cm^2 g^{-1}), és a kezelések közötti különbség sem volt nagy mértékű. Aszályos évjáratban (2007) következetes csökkenést figyelhettünk meg az SLA dinamikájában a növény teljes vegetációs időszakában, minden kezelésben. A virágzás és a szemtelítődés stádiuma között egy többé-kevésbé stagnáló időszak mutatkozott az SLA görbén, aminek az időbeni hossza évjárattól és kezeléstől függően változott, 2005-ben majd 8 héten át, 2006-ban 4-6 héten át, míg 2007-ben csupán 2 héten át maradt fent.

Az LWR dinamikáját nem befolyásolta szignifikánsan az évjárat, csapadékos és aszályos évben is megegyező lefutást mutatott. Az LWR értéke a kukorica növény 6-8 leveles állapotáig nőtt, majd a tenyészidőszak előrehaladtával következetesen csökkent. A kezelések átlagában kapott maximális és minimális LWR értékek között nem volt szignifikáns különbség az évek között. A maximális LWR érték 2005-ben 0,066 g g^{-1}; 2006-ban 0,069 g g^{-1}; 2007-ben 0,069 g g^{-1} és a minimális LWR érték 2005-ben 0,010 g g^{-1}; 2006-ban 0,011 g g^{-1}; 2007-ben 0,011 g g^{-1} volt.



5.18. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény *A:* specifikus levélterületének (SLA) és *B:* levéltömeg arányának (LWR) dinamikájára, a növekedésanalízis klasszikus módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.5. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényállomány növekedési mutatóira

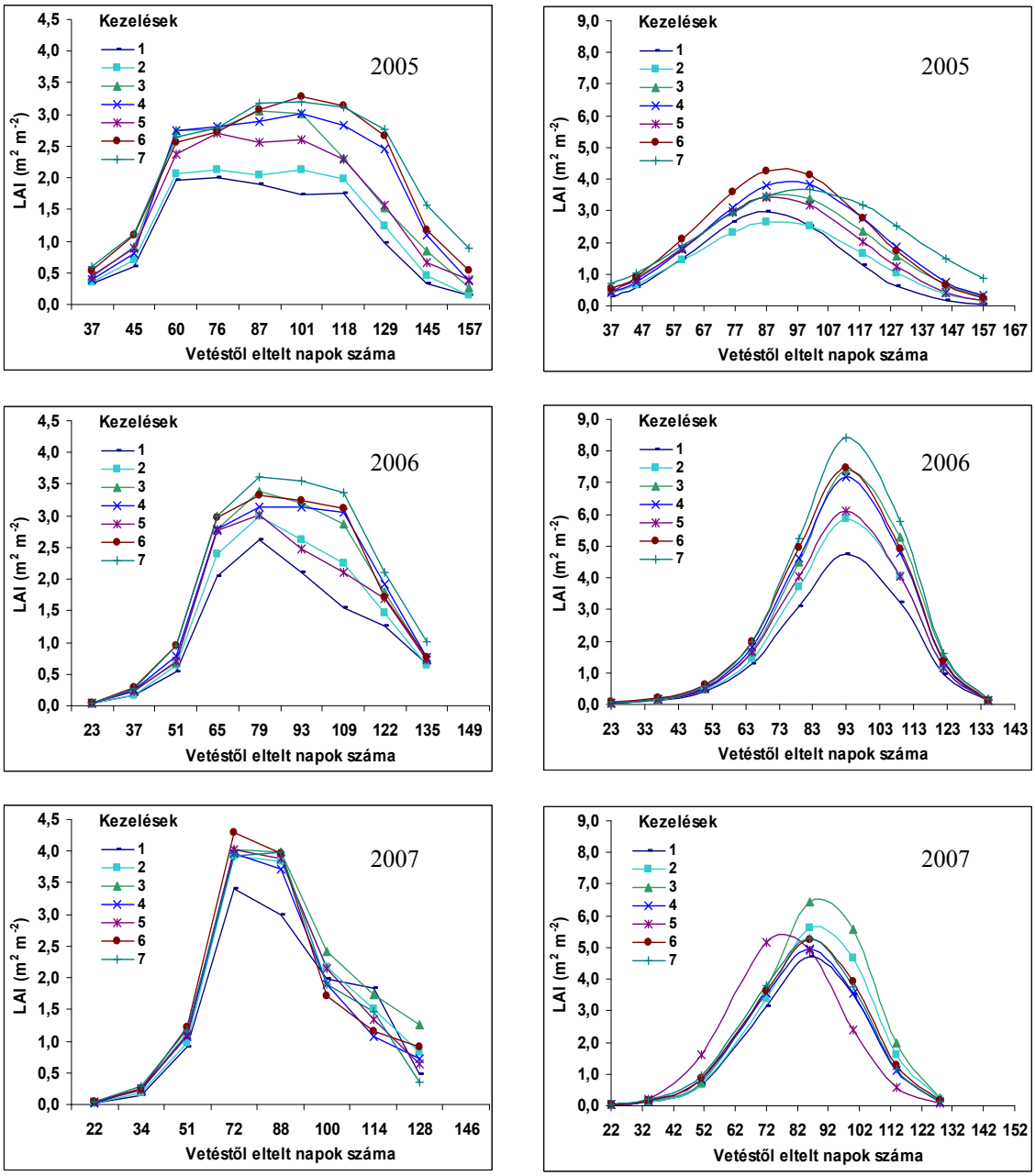
5.5.1. A levélterület index dinamikája (LAI)

A mért értékek alapján

5.19.A ábra mutatja be a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterület indexének (LAI) dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével. A levélterület index szezonális dinamikájában (a levélterület dinamikájához hasonlóan) 2005-ben és 2006-ban a hét kezeléshatás jól elkülöníthető volt, míg 2007-ben csökkent a trágyázási kezelések közötti különbség. 2005-ben három csoportba sorolhatók a kezelések a LAI értékek alapján: az 1. és a 2. kezelés adta a legkisebb értékeket (2,0 - 2,1 m^2 m^{-2}), a 6. és a 7. kezelés a magas (3,0 - 3,2 m^2 m^{-2}), és a 3., 4. és 5. kezelés a köztes értéket. Ekkor a LAI értékek minden kezelésben tartósan megmaradtak a virágzástól egészen a szemek érésének idejéig (a 4. és a 7. mintavétel között), ami biztosította az ideális körülményeket a termés kialakulásához. 2006-ban a kezelések LAI értékei közötti eltérés csökkent és négy csoportot lehetett elkülöníteni: a kontroll kezelés adta a legalacsonyabb értékeket, majd a 2. és az 5. kezelés, a 3., 4. és 6. kezelés, és a 7. kezelés szignifikánsan legmagasabb értékei. 2006-ban a kontroll és az istállótrágyával kezelt (2. és 5.) kezelésekben a LAI_{max} értékek csak két hétig maradtak fenn, a többi kezelés esetében hat héten keresztül. Aszályos évben (2007) a 6. kezelésben kaptuk a legnagyobb LAI_{max} értéket (4,3 m^2m^{-2}), a kontroll kezelésben a legkisebbet, a többi kezelés érékei pedig, egy csoportot alkottak. Ekkor a kezelések LAI értékei a maximum elérése után rögtön csökkenni kezdtek, csak a 2. és 3. kezelés LAI_{max} érékei maradtak fenn egy igen rövid ideig. A levélterület index dinamikáját vizsgálva megállapítottuk, hogy a 2007 nyarán bekövetkezett nagymértékű csapadékhiány következtében igen gyorsan lecsökkent levélfelület jelentős kihatással volt a termésképződésre is.

Az *5.12. táblázat* mutatja be a trágyázási kezelések hatását a kukoricanövény levélterület indexének maximumára (LAI_{max}) eltérő évjáratokban, a mért értékek alapján. Mind a hét kezelés LAI_{max} értékei a vizsgált évek során folyamatosan nőttek. A legmagasabb LAI_{max} értéket 2005-ben és 2007-ben a 6. kezelésben, 2006-ban a 7. kezelésben kaptuk. 2006-ban az 1., 2., 3. kezelések LAI_{max} értékei meghaladták a 2005-ben kapott értékeket, míg a 4., 5., 6., 7. kezelésekben az értékek változatlanok maradtak. A legkisebb LAI_{max} értéket évjárattól függetlenül, a kontroll kezelés adta. Aszályos évben a hat trágyázási kezelés maximális LAI értékei csak a kontroll kezelés értékétől különbözött, közöttük szignifikáns eltérés nem volt.

A B



5.19. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény levélterület indexének (LAI) dinamikájára
A: növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

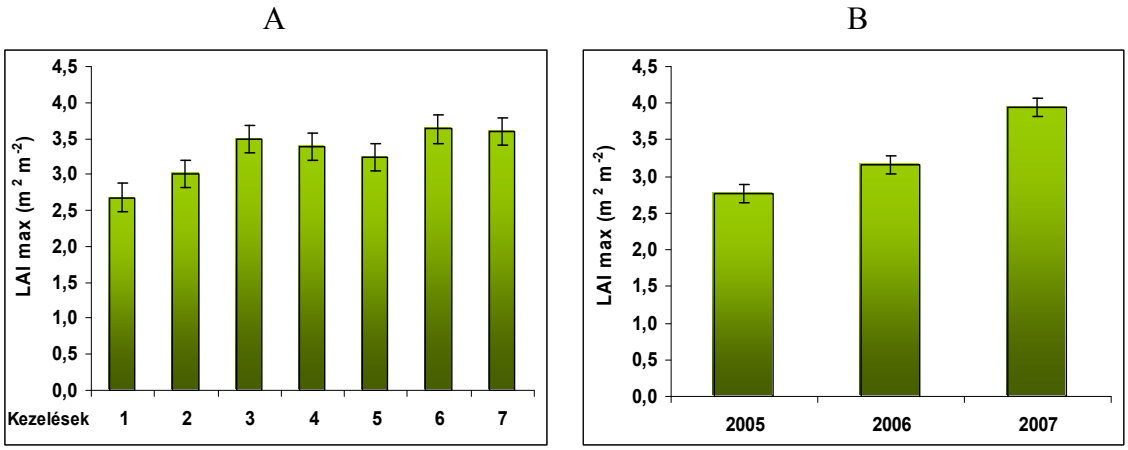
5.12. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukoricanövény levélterület indexének maximumára (LAI_{max}), eltérő évjáratokban (2005-2007)

Kezelések	Levélterület index (LAI_{max}) [m^2 m^{-2}] 2005	2006	2007
1	2,14 c†	2,62 c	3,41 b
2	2,31 c	2,99 c	3,91 a
3	3,15 ab	3,39 ab	4,02 a
4	3,14 ab	3,14 b	3,97 a
5	2,88 b	3,01 b	4,03 a
6	3,30 a	3,31 ab	4,30 a
7	3,35 a	3,61 a	3,99 a
$SzD_{kezelés}$	***	***	*

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 0,33**

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A trágyázási kezelések hatását a kukoricanövény levélterület indexének maximumára (LAI_{max}) a vizsgált három év átlagában az *5.20.A. ábra*, az évjárat hatását a kezelések átlagában pedig, az *5.20.B. ábra* mutatja be, a mért értékek alapján. Az évek átlagában szignifikánsan a legmagasabb LAI_{max} értékeket a 6. és 7. kezelésekben kaptuk (3,64 - 3,65 m^2 m^{-2}), a legalacsonyabbat pedig a kontroll kezelésben (2,72 m^2 m^{-2}).



5.20. ábra. A kukoricanövény levélterület indexének maximuma (LAI_{max})
A: a trágyázási kezelések hatására, a vizsgált három év (2005-2007) átlagában,
B: az évjárat hatására, a kezelések (1.-7.) átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A kezelések átlagában kapott LAI_{max} érték az optimális meteorológiai adottságú 2005-ös évben volt a legkisebb (2,90 m^2 m^{-2}), nőtt 2006-ban (3,15 m^2 m^{-2}), és az aszályos 2007-es évben érte el a legmagasabb értéket (3,95 m^2 m^{-2}).

A Hunt-Parsons modell alapján

Az 5.19.B ábra mutatja be a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény levélterület indexének (LAI) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével, ami A LAI dinamikáját másod- és harmadfokú függvénnyel jellemezte.

2005-ben a levélterület index maximuma a 2. kezelésben volt a legalacsonyabb (2,65 m^2 m^{-2}), ezt felülmúlta a kontroll kezelésben kapott érték (2,97 m^2 m^{-2}), és a 6. kezelésben volt a legmagasabb (4,24 m^2 m^{-2}). 2006-ban a levélterület index maximális értékei közötti különbség jelentősen nőtt, a HP-program illesztett adatai alapján. A kontroll kezelés adta legalacsonyabb érték (4,74 m^2 m^{-2}), és a 7. kezelésben mért legmagasabb levélterület index érték (8,42 m^2 m^{-2}) között. A 2. és 5., illetve a 2., 4. és 6. kezelések értékei megegyeztek. 2007-ben a 3. kezelésben kaptuk a legmagasabb levélterület index maximum értéket (6,43 m^2 m^{-2}), amelyet a 2. kezelés eredménye (5,63 m^2 m^{-2}) követett. Az 5. (a nagyarányú szervestrágya) kezelés levélterület index dinamikájának görbéje elkülönült a többi kezelés görbéjétől, a HP-program illesztett adatai alapján, és a maximális értékét kb. két héttel korábban mutatta. Aszályos évjáratban a nagyobb dózisú trágyázási kezelések csak a kontroll kezelés értékeit tudták felülmúlni.

A növekedésanalízis funkcionális módszerének előnye, hogy az adatai jól illeszkednek, hátránya viszont, hogy túlbecsüli a LAI maximum értékeket, a függvényillesztés tulajdonságaiból adódóan. A LAI dinamika HP-modellje tehát nem tudta visszaadni a maximális levélterület fennmaradásának idejét.

5.5.2. A termésnövekedés sebessége (CGR)

A mért értékek alapján

A növényállomány produkcióját leggyakrabban a termésnövekedés sebességével fejezzük ki. Az *5.21.A ábra* mutatja be a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény termésnövekedés sebességének (CGR) dinamikájára a növekedésanalízis klasszikus módszerével. A CGR szezondinamikájának tendenciája megegyezik a NAR mutató dinamikájával. A kukoricanövény 6-7 leveles állapot eléréséig a CGR értékek csak kismértékben nőnek, majd egy gyors növekedési szakasz következik, és a maximális CGR érték elérése után, egy szintén gyors csökkenés tapasztalható, amit egy erősen ingadozó állapot követ egészen a betakarításig. A CGR

érték maximumát a vetés utáni 45 - 51. napon mértük, a kukorica 8-10 leveles fenológiai stádiumában.

A trágyázási kezelések és az évjárat hatását az összes szárazanyag termésnövekedési sebességének (CGR) átlag és maximum értékeire a kukoricanövény vegetatív növekedési időszakában az *5.13. táblázat* mutatja be. A mért adatok alapján kapott CGR értékeket a vetéstől számított 79-88. napig értékeltük (Hunt et al. 2002).

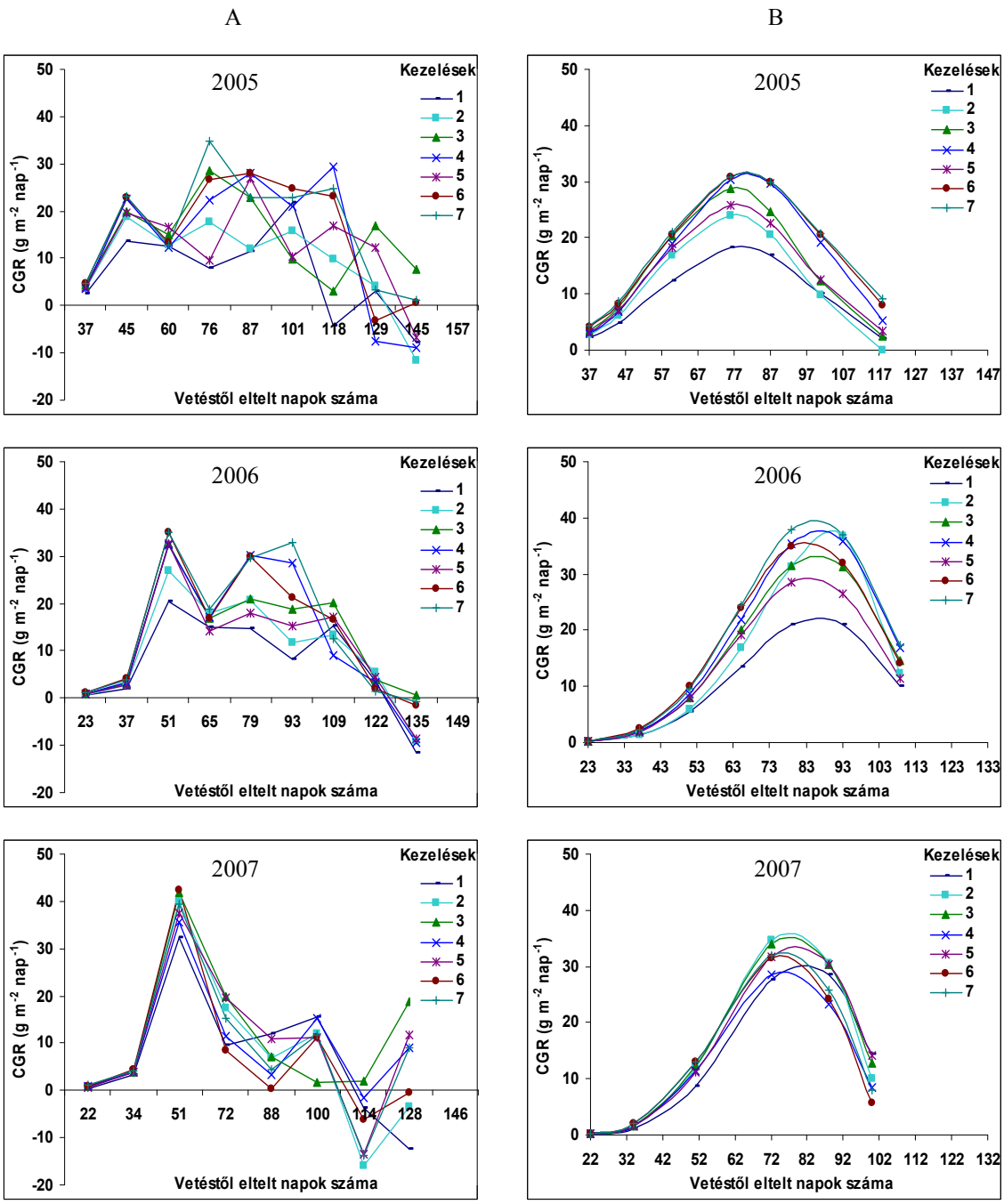
5.13. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) és az évjárat hatása (2005-2007) az összes szárazanyag termésnövekedési sebességének (CGR) átlag és maximum értékeire a növekedési időszakában

Kezelés	Összes szárazanyag termésnövekedési sebessége (CGR) [g m^{-2} nap^{-1}]					
	2005		2006		2007	
	Átlag	Max.	Átlag	Max.	Átlag	Max.
1	9,57 c †	13,58 d	9,48 c	20,33 b	11,43	32,37 c
2	11,70 b	18,68 c	12,12 b	26,93 ab	15,54	39,87 ab
3	13,07 ab	20,01 abc	13,31 ab	32,58 a	16,60	41,79 ab
4	12,85 a	22,67 ab	13,43 ab	32,38 a	12,93	35,51 bc
5	13,32 a	19,56 bc	12,61 b	32,66 a	15,41	37,65 abc
6	13,61 a	22,84 ab	14,32 a	34,95 a	14,07	42,47 a
7	13,53 a	23,12 a	14,73 a	35,02 a	14,91	39,29 ab
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	*	NS	*

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ CGR $_{átl}$ = 2,28 ^{NS}
$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ CGR $_{max}$ = 6,28 ^{NS}

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A kapott CGR átlag értékek az évek során nőttek a trágyázási kezelések hatására. A CGR átlag értékei minden trágyakezelésben 2005-ben voltak a legalacsonyabbak (9,57 - 13,61 g m^{-2} nap^{-1}, kivéve az 5. kezelésben), és 2007-ben a legmagasabbak (11,43 - 16,60 g m^{-2} nap^{-1}, kivéve a 4. és 6. kezelésekben). 2005-ben és 2006-ban szignifikáns eltérést kaptunk a különböző trágyakezelések CGR értékei között, míg 2007-ben nem volt szignifikáns hatása a trágyázásnak a CGR átlag értékeire. A 2007-es, aszályos évjáratban kapott CGR maximum értékek minden trágyakezelésben csaknem a duplája volt a kedvező évjáratban (2005) kapott CGR maximum értékeknek.



5.21. ábra. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005-2007) a kukoricanövény összes szárazanyagának termésnövekedési sebességének (CGR) szezondinamikájára, *A:* növekedésanalízis klasszikus és *B:* funkcionális módszerével. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

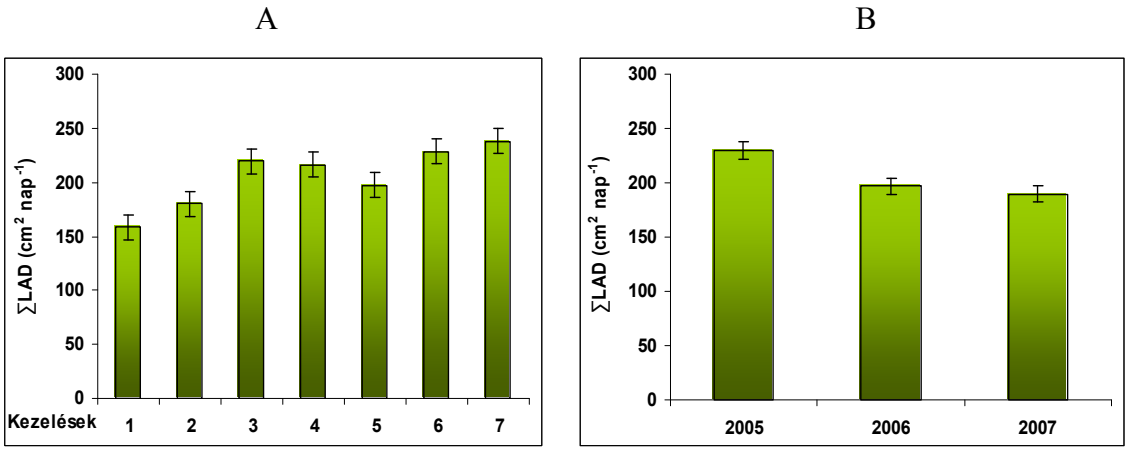
A Hunt-Parsons modell alapján

Az 5.21.B ábra mutatja be a trágyázási kezelések és az évjárat hatását a kukoricanövény termésnövekedés sebességének (CGR) dinamikájára a növekedésanalízis funkcionális módszerével. A CGR görbe lefutása szabályos, és szoros a hasonlóságot mutat az AGR görbéjével.

A CGR szezonális dinamikája a kezdeti alacsony értékről kiindulva (0,44 - 1,05 g m^{-2} nap^{-1}), a virágzás után 2-3 héttel érte el a maximális értéket (30,8 - 37,9 g m^{-2} nap^{-1}), majd ezt követően fokozatosan csökkent. A trágyázás növelte a CGR értékét, ám hatása a kukorica növény növekedésének különböző időpontjaiban eltérő volt. A CGR átlagos értékei kedvező évjáratban a trágyázás hatására következetesen növekedtek, aszályos évben azonban, a kontroll kezelés értékei meghaladták a nagyarányú műtrágyázás mellett kapott CGR értékeket is.

5.5.3. A levélterület tartóssága (LAD)

Az *5.22.A. ábra* mutatja be a trágyázási kezelések hatását a vizsgált három év átlagában, és az *5.22.B. ábra* mutatja be az évjárat hatását a kezelések átlagában, a kukoricanövény kumulált levélterület tartósságára (∑LAD).



5.22. ábra. A kukoricanövény kumulált levélterület tartóssága (∑LAD)
A: a trágyázási kezelések hatására, a vizsgált három év (2005-2007) átlagában,
B: az évjárat hatására, a kezelések (1.-7.) átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A növényenkénti levélterület egyrészt függ a genotípustól, másrészt a környezeti és az agrotechnikai faktoroktól, amelyek befolyásolják a levélterület növényenkénti maximális értékét, és a fennmaradásának (LAD) hosszát. A LAD értékeit a levélterület index alapján határoztuk

meg. A LAD értéke a legalacsonyabb a kontroll kezelésben volt, a legmagasabb a nagyarányú műtrágya kezelésben, míg a 3. és 4. kezelés hatása között nem volt szignifikáns különbség. Jelentős különbséget figyelhettünk meg az évjárat hatására a LAD értékekben, szignifikánsan a legmagasabb értékeket kedvező évjáratban, míg a legalacsonyabb értéket aszályos évjáratban kaptuk.

Az *5.14. táblázat* eredményei mutatják be a trágyázási kezelések hatását a kukoricanövény kumulált levélterület tartósságára, eltérő évjáratokban. A varianciaanalízis alapján aszályos évjáratban a trágyázásnak nem volt matematikailag igazolható hatása a LAD értékére, a kontroll kezeléshez viszonyítva. A LAD értéke a kezelések hatására 2005-ben voltak a legmagasabbak, kivéve a kontroll és a 2. kezelés esetében, ahol a 2007-es, aszályos évben.

5.14. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukoricanövény kumulált levélterület tartósságára (∑LAD), eltérő évjáratokban (2005-2007)

	Levélterület tartósság (∑LAD) [cm^2 nap^{-1}]		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**
1	155,25 e †	144,75 e	174,90
2	176,51 d	175,40 d	188,77
3	238,47 c	211,80 bc	207,78
4	258,12 b	210,62 bc	179,82
5	217,43 c	180,61 cd	189,51
6	274,51 a	218,54 b	192,11
7	288,02 a	236,77 a	188,59
$SzD_{kezelés}$	***	***	NS

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 20,05***

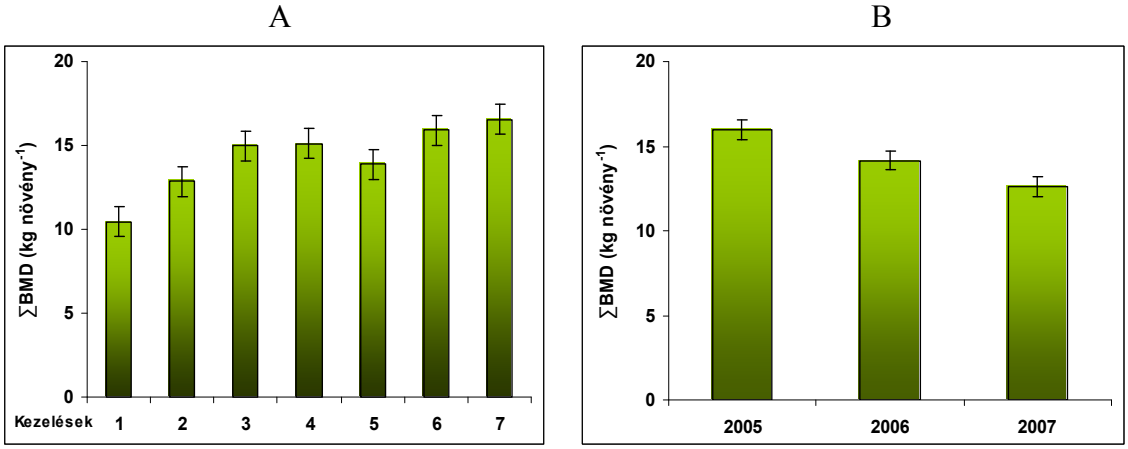
Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.5.4. A biomassza tartóssága (BMD)

Az *5.23.A. ábra* mutatja be a trágyázási kezelések hatását a vizsgált három év átlagában, és az *5.23.B. ábra* mutatja be az évjárat hatását a kezelések átlagában, a kukoricanövény kumulált biomassza tartósságára (∑BMD).

A BMD értéke a legalacsonyabb a kontroll kezelésben volt, a legmagasabb a nagyarányú műtrágya kezelésben, míg a 3. és 4. kezelés hatása között nem volt szignifikáns különbség.

Jelentős különbséget figyelhettünk meg az évjárat hatására a BMD értékekben, szignifikánsan a legalacsonyabb értékeket az aszályos évjáratban kaptuk.



5.23. ábra. A kukoricanövény kumulált biomassza tartóssága (∑BMD)
A: trágyázási kezelések hatására, a vizsgált három év (2005-2007) átlagában,
B: évjárat hatására, a kezelések (1.-7) átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az *5.15. táblázat* eredményei mutatják be a trágyázási kezelések hatását a kukoricanövény kumulált biomassza tartósságára, eltérő évjáratokban. A varianciaanalízis alapján aszályos évjáratban a trágyázásnak nem volt statisztikailag igazolható hatása a BMD értékére, a kontroll kezeléshez viszonyítva. A kapott BMD értékek minden kezelésben 2005-ben voltak a legmagasabbak, kivéve a kontroll kezelés esetében, ahol a 2007-es, aszályos évben.

5.15. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukoricanövény kumulált biomassza tartósságára (∑BMD), eltérő évjáratokban (2005-2007)

	Biomassza tartósság (∑BMD) [kg növény^{-1}]		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**
1	10,58 e †	9,62 e	11,16
2	13,20 d	12,39 d	12,99
3	16,44 bc	14,50 c	13,99
4	17,57 b	15,89 b	11,89
5	15,31 c	13,04 d	13,25
6	19,06 a	16,27 b	12,36
7	19,62 a	17,38 a	12,61
$SzD_{kezelés}$	***	***	NS

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 1,53***

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.5.5. A harvest index (HI)

Az *5.16. táblázat* mutatja be a trágyázási kezelések hatását a kukorica harvest indexére, eltérő évjáratokban. A betakarításkori harvest index (HI) egyaránt jól jellemezte a trágyázás hatását és az évjárathatást. Kedvező évjáratokban a legalacsonyabb HI értékeket a kontroll kezelésben kaptuk, majd a hatóanyag növelésével egyenes arányban nőtt a HI értéke is. 2005-ben a legmagasabb HI értékeket a 4., 6. és 7. kezelésekben (55,1 – 55,2 %), 2006-ban pedig a 3., 4. és 7. kezelésekben (53,1 – 54,1 %) kaptuk. Aszályos, 2007-es évjáratban a kontroll kezelés HI értéke felülmúlta a nagyarányú műtrágyázás hatására elért HI értéket, de statisztikailag értelmezhető különbség nem volt a trágyázási kezelések között.

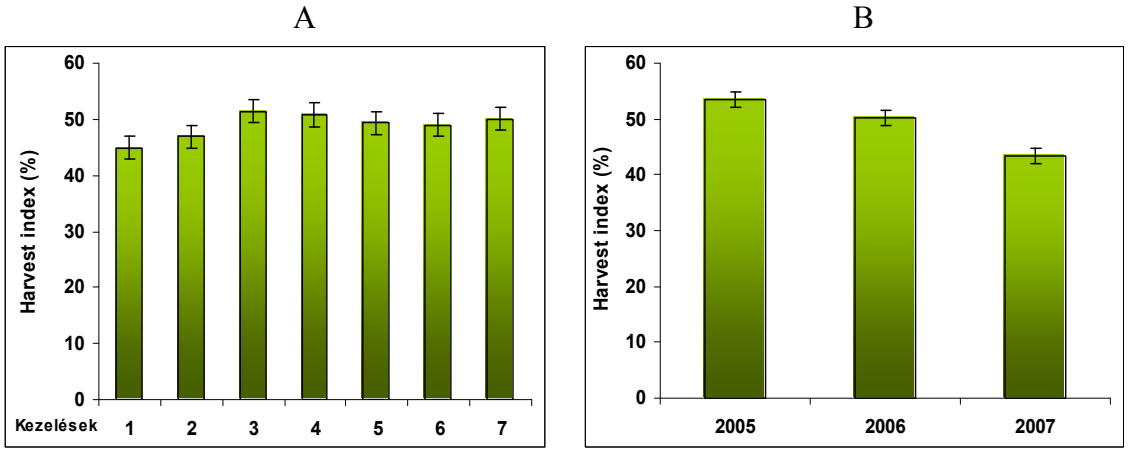
5.16. táblázat. A trágyázási kezelések (1.-7.) hatása a kukorica harvest indexére, eltérő évjáratokban (2005-2007)

	Harvest index (HI) [%]		
Kezelések	**2005**	**2006**	**2007**
1	48,81 c †	43,76 d	42,20
2	50,93 bc	47,84 c	42,05
3	54,61 ab	54,07 a	45,63
4	55,24 a	53,76 a	43,25
5	53,57 b	49,00 c	45,37
6	55,18 a	49,49 bc	42,23
7	55,07 a	53,12 ab	41,98
$SzD_{kezelés}$	***	***	NS

$SzD_{5\%\ kezelés \times év}$ = 3,57***

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az *5.24.A. ábra* mutatja be a trágyázási kezelések hatását a vizsgált három év átlagában, és az *5.24.B. ábra* mutatja be az évjárat hatását a kezelések átlagában a kukoricanövény harvest indexére (HI). A szemtermés és a biomassza-produkció arányát kifejező HI (%) az évek átlagában a legkisebb a kontroll kezelésben volt (44,9 %). Szignifikánsan nőtt a 2. kezelésben (46,9 %), majd az 5., 6., 7. kezelésben, amelyek között szignifikáns különbség nem volt (49,3; 49,0; 50,1 %). Az évek átlagában a legmagasabb HI értékeket a 3. és 4. kezelésben kaptuk (51,4 és 50,8 %). A kezelések átlagában a legmagasabb HI értéket 2005-ben mértük (53,3 %), szignifikánsan alacsonyabb volt 2006-ban (50,2 %), és az aszályos 2007-es évben volt a legalacsonyabb (43,3 %).



5.24. ábra. A kukoricanövény harvest indexe (HI)
A: trágyázási kezelések hatására, a vizsgált három év (2005-2007) átlagában,
B: évjárat hatására, a kezelések (1.-7.) átlagában.
Hibasávok: $SzD_{5\%}$-os szinten. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

5.6. A termést befolyásoló tényezők összefüggésvizsgálata

5.6.1. A termés és a növekedési mutatók közötti összefüggésvizsgálat

Többszörös regresszióanalízisel vizsgáltuk a kukorica szemtermését meghatározó terméskomponensek, illetve növekedési mutatók közötti kapcsolatok korrelációs koefficiens értékeit a GenStat statisztikai programcsomaggal, a Pearson-próba, illetve a növekedési mutatók közötti parciális korreláció alapján, valamint értékeltük az SPSS statisztikai program „Enter” eliminációs módszerével is.

Az *5.17. táblázatban* foglaltuk össze a három évjárat és a kezelések átlagértékei alapján, a kukorica szemtermése, a terméskomponensek, illetve a növekedési mutatók közötti összefüggés-vizsgálat korrelációs koefficiens értékeit a Pearson-próba, illetve a változók közötti parciális korreláció alapján. A táblázat a termést, a összes szárazanyag maximumát, a csövenkénti szemszámot, az ezerszemtömeget, a Harvest Indexet, a LAI_{max}, a $NAR_{átl}$ és a CGR_{max} mutatókat tartalmazza. A szignifikáns kapcsolatot mutató korrelációs koefficiens értékek mellett, feltüntettük a szignifikancia szinteket is.

A Pearson-féle korreláció alapján a termés és a szárazanyag maximum, a csövenkénti szemszám, az ezerszemtömeg és a Harvest Index esetében is nagyon szoros, pozitív kapcsolatot kaptunk (P = 0,1 %-os szinten), míg a CGR_{max} esetében szoros, negatív kapcsolatot (P = 1 %-os

szinten). A parciális korreláció alapján szoros, pozitív kapcsolatot (P = 5 %-os szinten) csak a termés és a szárazanyag maximum, valamint az ezerszemtömeg között találtunk.

A Pearson-féle korreláció nagyon szoros, pozitív kapcsolatot mutatott (P = 0,1 %-os szinten) a szárazanyag maximum, és a csövenkénti szemszám, az ezerszemtömeg, valamint a Harvest Index között, míg a parciális korreláció alapján nem volt igazolható kapcsolat a változók között.

A Pearson-féle korreláció szerint nagyon szoros, pozitív kapcsolat van a csövenkénti szemszám, és az ezerszemtömeg, valamint a Harvest Index között (P = 0,1 %-os szinten), a parciális korreláció alapján azonban, nem volt igazolható kapcsolat a szemszám és a Harvest Index között, viszont szoros pozitív kapcsolatot mutatott a $NAR_{átl}$ értékkel (P = 1 %-os szinten).

5.17. táblázat. A termés, a terméskomponensek és a növekedési mutatók közötti összefüggés-vizsgálat Pearson-féle korrelációs mátrixa, és parciális korrelációs mátrixa

Pearson-féle korrelációs mátrix

	Termés	$Szárazanyag_{max}$	Szemszám $cső^{-1}$	Ezerszem-tömeg	HI	LAI_{max}	$NAR_{átl}$	CGR_{max}
Termés	1							
$Szárazanyag_{max}$	0,8274***	1						
Szemszám/cső	0,8395***	0,8376***	1					
1000szem tömeg	0,9687***	0,7762***	0,8277***	1				
Harvest Index	0,9382***	0,7660***	0,8262***	0,8869***	1			
LAI_{max}	-0,3763^{NS}	0,1391^{NS}	-0,1424^{NS}	-0,3790^{NS}	-0,4404^{NS}	1		
$NAR_{átl}$	-0,3986^{NS}	-0,2130^{NS}	0,0853^{NS}	-0,3885^{NS}	-0,3245^{NS}	0,2393^{NS}	1	
CGR_{max}	-0,5487**	-0,0450^{NS}	-0,1712^{NS}	-0,5672**	-0,5549**	0,8825***	0,5942**	1

Parciális korrelációs mátrix

	Termés	$Szárazanyag_{max}$	Szemszám $cső^{-1}$	Ezerszem-tömeg	HI	LAI_{max}	$NAR_{átl}$	CGR_{max}
Termés	1							
$Szárazanyag_{max}$	0,523*	1						
Szemszám/cső	0,084^{NS}	0,175^{NS}	1					
1000szem tömeg	0,574*	-0,087^{NS}	0,491*	1				
Harvest Index	0,304^{NS}	0,224^{NS}	0,412^{NS}	-0,409^{NS}	1			
LAI_{max}	-0,227^{NS}	0,215^{NS}	-0,058^{NS}	0,319^{NS}	-0,101^{NS}	1		
$NAR_{átl}$	-0,139^{NS}	-0,291^{NS}	0,644**	-0,079^{NS}	-0,126^{NS}	-0,483*	1	
CGR_{max}	-0,076^{NS}	0,371^{NS}	0,190^{NS}	-0,407^{NS}	-0,224^{NS}	0,753***	0,508*	1

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, $^{+}$P=10%, ^{NS} = nem szignifikáns

A Pearson-féle korreláció és a parciális korreláció alapján is igen szoros, illetve szoros pozitív kapcsolat állapítható meg a CGR_{max}, valamint a LAI_{max}, és a $NAR_{átl}$ között (P = 0,1; 1 % és 5 %-os szinten). Mindkét mátrix eredménye szerint, akkor érhető el nagyobb CGR_{max} érték, ha mind a LAI_{max}, mind a $NAR_{átl}$ nagyobb értéket ér el. A Pearson-féle korreláció, szoros negatív

kapcsolatot mutatott a CGR_{max} és az ezerszemtömeg, valamint a Harvest Index között, ugyanakkor, nem volt igazolható kapcsolat közöttük a parciális korreláció alapján. A LAI_{max}, és a $NAR_{átl}$ között a Pearson-féle korreláció szerint pozitív, de nem szignifikáns a kapcsolat, a parciális korreláció viszont, szoros negatív kapcsolatot mutatott (P = 5 %-os szinten). Mindkét korreláció alapján negatívan befolyásolta a termést a LAI_{max}, és a $NAR_{átl}$, ez azonban szignifikánsan nem volt igazolható.

Az *5.18. táblázat* mutatja a változók közötti többszörös lineáris regresszióanalízis eredményét, a GenStat statisztikai programcsomag alapján. A többszörös regresszióanalízis során, a többszörös determinációs koefficiens értéke (R^2 = 97,4 %) alapján megállapítottuk, hogy a figyelembe vett változók, azaz a CGR_{max}, az összes szárazanyag maximuma, a Harvest Index és az ezerszemtömeg, a termés alakulását 97,4 %-ban értelmezték, SE = 0,373 standard hiba érték mellett.

A kapott regressziós egyenlet:

$$Y = -8{,}71 - 0{,}0428_{CGRmax} + 0{,}01737_{Sza.max} + 0{,}0997_{HI} + 0{,}02375_{Ezerszemtömeg}$$

A t-próba értékei alapján megállapítottuk, hogy a kukorica szemtermését szignifikánsan befolyásolta az összes szárazanyag maximuma, az ezerszemtömeg és a Harvest Index is, P = 0,1 és 5 %-os szinten.

5.18. táblázat. A változók közötti többszörös lineáris regresszióanalízis varianciatáblázata, a GenStat statisztikai programcsomag alapján

Forrás	FG	SQ	MQ	F-próba
Regresszió	4	103,389	25,8472***	<0,001
Hiba	16	2,229	0,1393	
Összes	20	105,618	5,2809	

Változó	b-érték	t-érték	t-próba
Konstans	-8,71	-4,43***	<0,001
CGR_{max}	-0,0428	$-1{,}99^{NS}$	0,064
$Szárazanyag_{max}$	0,01737	2,83*	0,012
Harvest Index	0,0997	2,26*	0,038
1000 szem tömeg	0,02375	4,09***	<0,001
		R^2 = 0,974	

b-érték: a regressziós koefficiens becsült értéke.
Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns

A parciális korreláció alapján kapott eredmény szerint az összes szárazanyag maximális értéke és az ezerszemtömeg együttesen mintegy 60 %-ban határozza meg a kukorica szemtermésének varianciáját ($R^2_{sz.a.} + R^2_{ezerszem}$), ami sokkal reálisabb képet ad a változók közötti összefüggésekről, mint a Pearson-féle korreláció során kapott eredmény. A változók közötti parciális korrelációs mátrix alkalmazásával tehát valós képet kapunk, hiszen kiszűri az egyéb változók közvetett hatását oly módon, hogy a változó párok közötti parciális korrelációt hozzáigazítja a mátrix összes többi változójához.

5.6.2. A termés és a terméskomponensek közötti összefüggésvizsgálat

A két terméskomponens, a csövenkénti szemszám, és az ezerszemtömeg hatását a kukorica szemtermésére, az SPSS statisztikai program „Enter” eliminációs módszerével is értékeltük. Az „Enter” eliminációs módszer is többszörös regressziós módszer, ami szintén a Pearson-féle korrelációt alkalmazza. Ebben az esetben a β (standardizált koefficiens) relatív nagysága jelzi a két független változó hatását. Az *5.19. és 5.20. táblázatok* a kukorica szemtermése és a terméskomponensek közötti többszörös regresszióanalízis eredménytáblázatai, az SPSS statisztikai program „Enter” módszere alapján (n = 147), a kezelések, illetve a vizsgált évek átlagában.

A trágyázási kezelések átlagában

Az „Enter” eliminációs módszerrel kapott eredmény szerint a figyelembe vett változók, azaz a két terméskomponens, a kezelések és a három év átlagában a termés alakulását mintegy 76 %-ban értelmezték (R^2 = 75,9 %), a standard hiba értéke SE = 1,195.

A kapott regressziós egyenlet: $Y = -7{,}857 + 0{,}007_{Szemszám/cső} + 0{,}038_{Ezerszemtömeg}$

A kezelések és a három év átlagában kapott elemzés alapján megállapítható, hogy az ezerszemtömeg hatása a termésre (β = 0,721) mintegy 3,75-szerese volt a csövenkénti szemszám hatásához képest (β = 0,192). Az F-próba P = 0,1 %-os szinten szignifikáns volt (*5.19. táblázat*).

A kezelések átlagában végzett elemzés alapján, csapadékos évjáratokban a két terméskomponens 62, illetve 59 %-ban értelmezték (R^2_{2005} = 62,3 %; R^2_{2006} = 58,8 %) a szemtermés alakulását, és az F-próba mindkét esetben, P = 0,1 %-os szinten szignifikáns volt. Mindhárom évben, az ezerszemtömegnek volt nagyobb a β-értéke, tehát nagyobb hatása a termésre, de ez 2007-ben nem volt szignifikáns. Aszályos évjáratban sem ezerszemtömegnek, sem a csövenkénti szemszámnak nem volt szignifikáns hatása a termésre (R^2_{2007} = 4,5 %), az „Enter” módszer alapján.

5.19. táblázat. A kukorica szemtermése és a terméskomponensek közötti többszörös regresszióanalízis eredménytáblázata, az SPSS statisztikai program „Enter” módszere alapján (n = 147), a vizsgált években, a kezelések átlagában (1.-7. kezelés), valamint az évek átlagában

Termés-komponensek	2005			2006			2007			2005-2007		
	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β
Konstans	-3,925	-2,865**		-12,217	-4,701***		1,185	1,027^{NS}		-7,857	-12,526***	
Szemszám/cső	0,011	2,125*	0,350	0,01	2,991**	0,344	0,001	0,414^{NS}	0,060	0,007	3,200**	0,192
1000szem tömeg	0,022	2,879**	0,473	0,048	4,492***	0,517	0,006	1,333^{NS}	0,194	0,038	12,013***	0,721
	R^2 = 0,623 F-érték = 37,94***			R^2 = 0,588 F-érték = 32,89***			R^2 = 0,045 F-érték = 1,08^{NS}			R^2 = 0,759 F-érték = 226,66***		

b-érték: a regressziós koefficiens becsült értéke; β: standardizált regressziós koefficiens (valódi érték).
Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns

A vizsgálati évek átlagában

A különböző trágyázási kezelések elemzése a vizsgált évek átlagában rámutatott, hogy minden kezelés esetében, az ezerszemtömegnek volt nagyobb hatása a termésre, kivéve az 5. kezelésben, ahol a csövenkénti szemszám β-értéke meghaladta az ezerszemtömeg β-értékét (*5.20. táblázat*).

5.20. táblázat. A kukorica szemtermése és a terméskomponensek közötti többszörös regresszióanalízis eredménytáblázata, az SPSS statisztikai program „Enter” módszere alapján (n = 147), a különböző trágyázási kezelésekben, a vizsgált évek átlagában (2005-2007)

Termés-komponensek	1. kezelés			2. kezelés			3. kezelés			4. kezelés		
	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β
Konstans	-3,215	-1,434^{NS}		-4,779	-1,693^{NS}		-5,379	-3,500**		-6,194	-2,767*	
Szemszám/cső	0,001	0,135^{NS}	0,230	-0,005	0,855^{NS}	-0,175	-0,003	0,594^{NS}	-0,104	0,009	1,175^{NS}	0,242
1000szem tömeg	0,026	3,981***	0,686	0,042	3,468**	0,711	0,043	5,454***	0,959	0,031	2,904**	0,598
	R^2 = 0,469 F-érték = 7,94**			R^2 = 0,417 F-érték = 6,44**			R^2 = 0,776 F-érték = 31,26***			R^2 = 0,622 F-érték = 14,79***		

Termés-komponensek	5. kezelés			6. kezelés			7. kezelés		
	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β	b-érték	t-érték	β
Konstans	-4,402	-2,331**		-9,384	-6,326***		-12,224	-7,713***	
Szemszám/cső	0,013	1,978^{+}	0,465	0,007	1,003^{NS}	0,153	0,011	1,762^{+}	0,233
1000szem tömeg	0,017	1,533^{NS}	0,360	0,044	5,271***	0,803	0,047	5,620***	0,745
	R^2 = 0,606 F-érték = 13,87***			R^2 = 0,874 F-érték = 62,15***			R^2 = 0,890 F-érték = 72,79***		

b-érték: a regressziós koefficiens becsült értéke; β: standardizált regressziós koefficiens (valódi érték).
Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

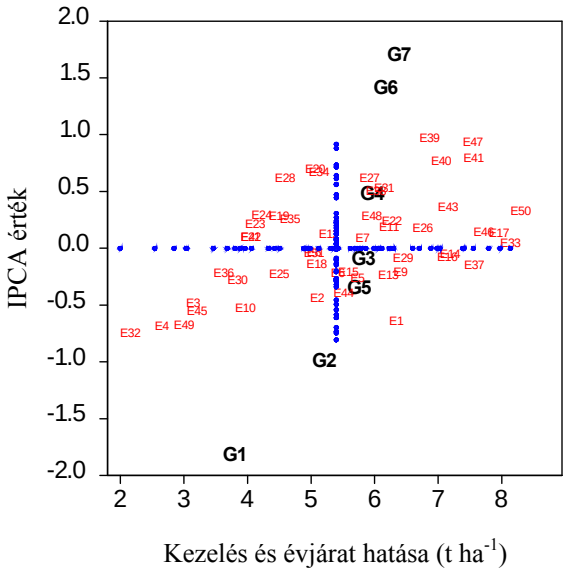
Az R^2 értéke a 2. kezelésben volt a legalacsonyabb (R^2 = 41,7 %), és a 7. kezelésben a legmagasabb (R^2 = 89 %). Az F-érték minden kezelésben szignifikáns volt, P = 0,1 és 1 %-os szinten. Az ezerszemtömeg és a termés között minden kezelés esetében szoros pozitív kapcsolatot találtunk, P = 0,1 és 1 %-os szinten, kivéve az 5. kezelés esetében. A csövenkénti szemszám és a termés között laza pozitív kapcsolatot csak az 5. és a 7. kezelésekben kaptunk (P = 10 %-os szinten), a többi kezelés esetében nem volt szignifikáns kapcsolat.

5.7. Az eredmények összefoglalása, új tudományos eredmények

5.7.1. Eredmények összefoglalása

A trágyázás és az évjárat hatásának vizsgálata a tartamkísérlet 51 éves terméseredményei alapján (1958-2009)

A kísérleti kezelések hatását a kukoricatermés variabilitására a többváltozós stabilitásanalízis (AMMI) alapján, az *5.25. ábra* szemlélteti. Az X tengelyen a termésátlag, az Y tengelyen a kölcsönhatás főkomponens értékek vannak feltüntetve a 7 trágyázási kezelésre (G1-G7) és az 51 évre (E1-E51) vonatkozóan.



5.25. ábra. A kukorica termésátlag, valamint a 7 trágyázási kezelés (G1-G7) és az 51 környezet (E1-E51) főkomponens értékeinek AMMI diagramja (Berzsenyi et al. 2011).

Látható, hogy a G1 (kontroll), valamint a G6 (35 t ha^{-1} istállótrágya + $N_1P_1K_1$) és a G7 ($N_2P_2K_2$) kezelés járult hozzá legnagyobb mértékben a kölcsönhatáshoz, míg a G3 (17,5 t ha^{-1} istállótrágya + $N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$), a G5 (70 t ha^{-1} istállótrágya) és a G4 ($N_1P_1K_1$) kezeléseknek legnagyobb a termésstabilitása. Az ábra jól mutatja a környezet (évek) csoportosulását is. A koordinátarendszer bal alsó negyedében a száraz évek (241 mm csapadék) alacsony terméssel (3,19 t ha^{-1}), a bal felső negyedben ugyancsak száraz évek (246 mm csapadék), átlag alatti terméssel (5,33 t ha^{-1}) találhatók. A koordinátarendszer jobb oldalán 0 és ± 0,5 közötti PCA értéknél találhatóak azok az évek, amelyekben kedvező volt a csapadékellátottság (354 mm) és magas, stabil volt a termés (7,39 t ha^{-1}).

A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, valamint a szem beltartalmára

A szerves- és műtrágya hatását a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire (csövenkénti szemszám, ezerszemtömeg), valamint a szem beltartalmára (nyersfehérje-, olaj- és keményítő tartalom) a vizsgált években (2005-2007), az *5.21. táblázatban* foglaltuk össze.

5.21. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, valamint a szem beltartalmára a vizsgált években (2005-2007)

	Kezelések	Termés (t ha^{-1})	Szemszám/ cső (db)	Ezerszem-tömeg (g)	Szem nyersfehérje tartalom (%)	Szem olaj-tartalom (%)	Szem keményítő tartalom (%)
2005	1	4,26 e †	272,67 e	262,02 d	6,28 de	3,55 a	70,16 b
	2	5,96 d	325,19 d	267,52 d	6,00 e	3,53 a	71,75 a
	3	7,67 b	413,57 bc	333,23 b	6,85 bc	3,46 ab	70,58 ab
	4	7,97 b	420,76 abc	328,27 b	7,36 b	3,48 ab	70,23 b
	5	6,81 c	405,67 c	303,84 c	6,70 cd	3,51 ab	70,26 b
	6	9,22 a	435,71 ab	356,38 a	8,94 a	3,41 bc	68,08 c
	7	9,82 a	440,29 a	366,81 a	9,39 a	3,35 c	67,79 c
	$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***	**	***
2006	1	3,99 e	313,09 d	277,87 d	6,44 c	3,69 a	64,63 c
	2	4,88 de	379,23 c	281,63 cd	6,78 c	3,26 c	70,99 b
	3	6,01 bc	424,14 ab	295,21 b	7,59 b	3,54 a	66,88 c
	4	6,28 b	437,24 ab	289,87 bc	7,65 b	3,33 bc	71,36 b
	5	5,17 cd	404,51 bc	284,73 bcd	7,56 b	3,39 b	66,69 c
	6	6,26 b	436,13 ab	291,76 bc	8,61 a	3,28 bc	74,05 a
	7	7,69 a	447,97 a	316,11 a	8,96 a	3,38 b	71,53 ab
	$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***	***	***
2007	1	2,49 b	289,11	227,37	7,89 bc	3,31 b	72,76
	2	3,01 a	322,11	233,36	7,55 cd	3,31 b	74,88
	3	3,18 a	321,83	231,60	7,99 b	3,39 a	72,24
	4	3,11 a	304,06	230,72	7,60 bcd	3,08 c	74,29
	5	3,35 a	298,49	235,14	7,49 d	3,34 ab	74,18
	6	2,44 b	304,54	228,71	7,59 bcd	3,09 c	73,04
	7	2,32 b	306,80	245,49	9,95 a	3,36 ab	73,00
	$SzD_{kezelés}$	***	NS	NS	***	***	NS
$SzD_{5\%kezelés\times év}$		0,97***	37,81***	19,93***	0,49***	0,09***	2,16**

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Kedvező évjáratokban (2005, 2006) a trágyázási kezeléseknek szignifikáns hatása volt a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, és beltartalmi értékeire is. Aszályos évjáratban (2007) a trágyázási kezelések hatására a szemtermés, valamint a szem nyersfehérje-, és olaj-tartalom értékekben kaptunk szignifikáns különbségeket, a terméskomponensek, illetve a szem keményítő-tartalma esetében nem.

Csapadékos évjáratokban az istállótrágya+műtrágya (3. és 6.) kezelések termésre gyakorolt hatása szignifikánsan felülmúlta az istállótrágya hatását (2. és 5. kezelés), azonban alulmaradt a csak műtrágya formájában kijuttatott azonos NPK-hatóanyag hatásától (4. és 7. kezelés). Aszályos évben a magas trágya dózisú kezelések (6. és 7. kezelések) terméseredménye (2,44 t ha^{-1}) nem mutatott szignifikáns különbséget a kontroll kezelésben kapott terméseredménytől. Szignifikánsan a legmagasabb termést ebben az évben az 5. kezelésben (3,35 tha^{-1}), azaz a 70 t ha^{-1} istállótrágya alkalmazásakor kaptuk, ami az istállótrágya pozitív hatásával magyarázható száraz évjáratban.

Csapadékos években a kontroll kezelésben kapott csövenkénti szemszám 29,4 és 36,6 %-kal volt kevesebb, mint az $N_2P_2K_2$ műtrágya kezelésben kapott maximális csövenkénti szemszám, míg aszályos évben csupán 5,6 %-kal. Száraz évjáratban az ezerszemtömeg értéke 12,7 - 33,1 %-kal csökkent a csapadékos évjáratban kapott ezerszemtömeghez képest.

A legmagasabb szem nyersfehérje tartalmat évjárattól függetlenül a magas szintű NPK műtrágyázás (7. kezelés: 8,96 - 9,39 %) hatására mértük. A legalacsonyabb szem nyersfehérje tartalmat kedvező években a kontroll és az alacsony szintű trágyakezelésekben értük el (6,00 - 6,44 %), aszályos évben pedig, a csak istállótrágyát kapott kezelésekben (5., 2. kezelés: 7,49 - 7,55 %).

A szerves- és műtrágya hatása a kukorica maximális szárazanyag tömegére, levélterületére, valamint a levél minőségi paramétereire

A szerves- és műtrágya hatását a kukorica maximális összes- és szem szárazanyag tömegére, összes levélterületére és a cső melletti levél területére, valamint a levél minőségi paramétereire (klorofill-, és nitrogén tartalom) a vizsgált években (2005-2007), az *5.22. táblázatban* foglaltuk össze.

A növekedésanalízis klasszikus módszere alapján a növényenkénti összes szárazanyag, és a szem szárazanyag beépülés dinamikájában hosszú ideig tartó lineáris növekedési szakasz, csapadékos években alakult ki. Optimális évjáratokban a levélterület szezonális dinamikájában (a szárazanyag dinamikájához hasonlóan) a hét trágyakezelés hatása jól elkülöníthető volt, míg aszályos évben a kezelések közötti különbségek lecsökkentek. A Hunt-Parsons program alkalmazásakor a csapadékos, 2005-ös évben a növekedési időszak végén a görbe nem mutatott maximum pontot, a növekedés minden kezelésben tovább folytatódott. 2006-ban, a növekedési időszak végén a szárazanyag beépülés mindegyik trágyakezelésnél a maximum elérése után határozottan csökkent.

5.22. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica maximális szárazanyag tömegére, levélterületére, valamint a levél minőségi paramétereire a vizsgált években (2005-2007)

	Kezelések	Össz. szárazanyag$_{max}$ (g növ^{-1})	Szem szárazanyag$_{max}$ (g növ^{-1})	Levélterület$_{max}$ (cm^2 növ^{-1})	Cső melletti levél területe (cm^2)	Levél klorofill-tartalom (SPAD)	Levél nitrogén-tartalom (%)
2005	1	148,67 c †	74,15 c	2808,92 b	432,17 d	33,20 e	1,75 c
	2	187,82 c	99,06 c	2980,43 b	484,33 c	39,03 d	1,94 bc
	3	251,49 ab	137,53 ab	3867,17 a	541,26 a	50,00 b	2,47 a
	4	265,59 ab	142,30 ab	3943,00 a	537,46 ab	53,91 a	2,53 a
	5	232,01 b	122,05 b	3772,75 a	518,65 b	43,63 c	2,01 b
	6	278,11 a	149,60 ab	3811,50 a	540,34 ab	54,49 a	2,63 a
	7	289,11 a	159,27 a	3902,67 a	545,87 a	55,66 a	2,68 a
	SzD$_{kezelés}$	***	***	***	***	***	***
2006	1	153,26 d	64,34 c	2953,09 d	441,25 c	23,92 e	1,18 e
	2	192,30 c	87,74 b	3664,50 c	554,00 ab	26,93 d	1,30 de
	3	228,40 bc	130,37 a	4471,08 b	575,59 ab	34,50 c	1,78 c
	4	245,84 ab	135,08 a	4381,25 b	545,25 ab	46,73 b	2,23 b
	5	203,34 c	95,77 b	3467,67 c	534,42 b	27,89 d	1,48 d
	6	247,92 ab	128,56 a	4550,92 b	568,08 ab	44,00 b	2,09 b
	7	267,38 a	139,49 a	4968,83 a	590,67 a	51,49 a	2,45 a
	SzD$_{kezelés}$	***	***	***	***	***	***
2007	1	176,67	67,79	4203,92 b	561,83 c	29,99 d	1,99 d
	2	199,91	68,89	5365,08 a	636,17 ab	30,17 d	2,16 bcd
	3	230,66	105,43	5571,75 a	652,33 a	43,14 a	2,33 ab
	4	189,11	82,05	5206,17 a	608,75 b	38,89 c	2,27 abc
	5	202,49	91,20	5427,83 a	645,00 a	42,14 ab	2,06 cd
	6	176,41	69,40	5547,00 a	642,17 a	39,44 bc	2,49 a
	7	188,54	75,64	5584,58 a	651,33 a	44,14 a	2,41 ab
	SzD$_{kezelés}$	NS	NS	***	***	***	*
SzD$_{5\%kezelés\times év}$		46,77**	25,12**	412,44***	NS	3,06***	0,22***

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek SzD$_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján. A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A levélterület maximális értékei csapadékos években öt-hat hétig (2005), illetve négy héten keresztül (2006) tartósan megmaradtak (a kontroll kezelés kivételével), ami biztosította az ideális körülményeket a termés kialakulásához. Aszályos évben a maximális levélterületet csak igen rövid ideig maradt fent, s a csapadékhiány és légköri aszály következtében gyorsan száradásnak indult levélzet jelentős hatással volt a terméskép ződésre is. A HP-program levélterület növekedés dinamikájára illesztett görbéi nem tudták visszaadni a maximális zöld levélterület fennmaradásának időtartamát, a függvényillesztés hibájából eredően.

A HP-program illesztett görbéinél a szem szárazanyag beépülési dinamikában a fiziológiai érés előtt csökkenést tapasztaltunk kedvező évjáratokban. Aszályos évben a 70 t ha^{-1} istállótrágya kezelésben tapasztaltunk erőteljes szem szárazanyag növekedést a teljes érés időszakában.

A trágyázási kezeléseknek csak a kedvező, csapadékos évjáratokban volt szignifikáns hatása a kukorica növényenkénti összes szárazanyag és szem szárazanyag maximumára, aszályos évben nem. A növényenkénti összes maximális levélterület, a cső melletti levélterület, valamint a levél klorofill-, és nitrogén-tartalom értékeit minden évben szignifikánsan befolyásolták a trágyázási kezelések.

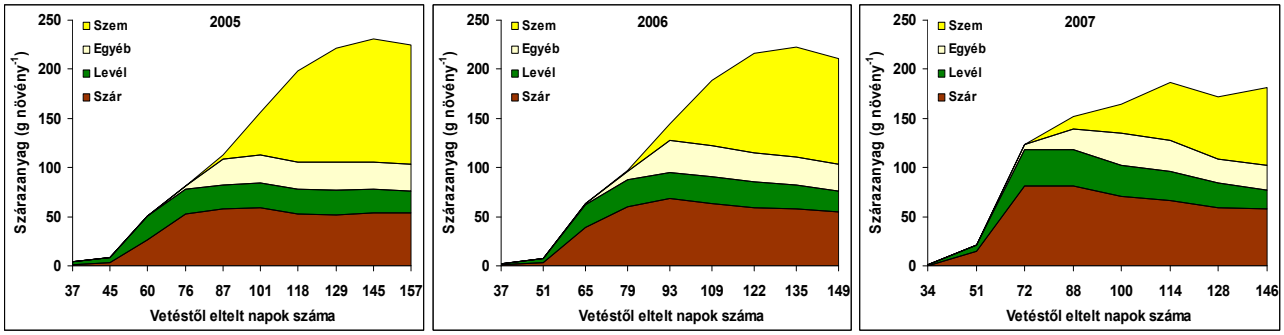
A kukorica maximális levélterülete (L_{Amax}) és a cső melletti levél területének alakulása hasonló volt a kezelések átlagában, 2005-ben volt a legkisebb, nagyobb volt 2006-ban, és 2007-ben volt a legnagyobb, tehát szoros összefüggést állapíthattunk meg e két levélterület érték között. Mind a L_{Amax} értékét, mind az azonos időpontban mért cső melletti levélterületet jelentős mértékben befolyásolta az évjárathatás, s az évek között szignifikáns különbség volt. A 2007. évi kiemelkedően nagy levélterületeket a június hónapban hullott 60 mm csapadék és az átlagosnál 2 °C-kal melegebb klimatikus viszonyok okozhatták.

Szoros összefüggést állapíthattunk meg a kukorica levélen, növényállományban végzett klorofill mérés SPAD-értékei, és a kukorica szemtermése között, ugyanakkor laza volt az összefüggés az évjárathatással. A kontroll és a csak szerves trágyát kapott (2. és az 5.) kezelések esetében a legmagasabb N-tartalmat az aszályos, 2007. évben mértük a kukorica levelekben. A csak műtrágyázásban, illetve műtrágyázásban és szerves trágyázásban is részesített kezelések esetében a kedvező, 2005-ös évjáratban mértük igazolhatóan a legmagasabb levél N-tartalom értékeket. Szoros összefüggést állapíthattunk meg a levél klorofill-, illetve össz-N-tartalma között a különböző trágyázási kezelések hatására, a kísérleti évek átlagában kapott eredmények alapján.

A szárazanyag-produkció növényi részek szerinti megoszlása

A trágyázási kezelések (1-7) hatását a szárazanyag produkció növényi részek (szár+levélhüvely, levél, szem és egyéb) közötti megoszlásának szezonális dinamikájára az 5.3.4. alfejezetben már értelmeztük, ezért az *5.26. ábrán* az évjárat hatását (2005-2007) szemléltetjük a szárazanyag produkció növényi részek közötti megoszlásának dinamikájára.

Kedvező évjáratokban a betakarítás körüli időszakban a növényenkénti száraz szem tömege több mint duplája volt a száraz szár tömegének, míg aszályos évjáratban a szem tömege alig haladta meg a szár tömegét. Kedvezőtlen évjáratban a szár és az egyéb növényi részek aránya nőtt, a szem tömegének aránya ugyanakkor jelentősen csökkent.



5.26. ábra. Az évjárat hatása (2005-2007) a szárazanyag produkció növényi részek közötti megoszlásának dinamikájára, a trágyázási kezelések átlagában

A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényegyedek növekedését jellemző mutatók alakulására

A szerves- és műtrágya hatását a kukorica növényegyedek növekedését jellemző mutatók ($AGR_{átl}$, $ALGR_{átl}$, $NAR_{átl}$, $RGR_{átl}$, $RLGR_{átl}$, $LAR_{átl}$, $SLA_{átl}$, $LWR_{átl}$) alakulására a vizsgált években (2005-2007), az *5.23. táblázatban* foglaltuk össze.

Csapadékos évjáratban az AGR görbéje a növekedési időszak végén nem mutatott maximum értéket, a szárazanyag beépülés tovább folytatódott. A HP-program szerint a kontroll kezelés AGR görbéje 2005-2006-ban egyértelműen elkülönült a többi trágyakezelés görbéjétől és a legalacsonyabb értékeket mutatta, míg 2007-ben értékei felülmúlták a 4. kezelés értékeit. Aszályos évjáratban a maximális szárazanyag értékeket minden kezelésben 2 héttel korábban érte el a kukorica növény, mint kedvező évjáratban. Az ALGR maximumát csapadékos évben minden kezelésben azonos időben mértük, a növények 10-12 leveles fejlettségi állapotában, míg aszályos évben egy héttel korábban, 8-10 leveles állapotban. Az SLA szezonális dinamikájának görbéjén a virágzás és a szemtelítődés stádiuma között egy többé-kevésbé stagnáló időszak mutatkozott, ami csapadékos évjáratban 6-8 héten át, míg aszályos évjáratban csupán 2 héten át maradt fent. Az LWR értéke évjárattól függetlenül a kukorica növény 6-8 leveles állapotáig nőtt, majd a tenyészidőszak előrehaladtával következetesen csökkent.

Az RGR és az RLGR értékeire a trágyázási kezeléseknek csak kismértékű hatása volt. A HP-modell alapján aszályos évben a kontroll kezelésben már a növények 8 leveles állapotában (vetés utáni 45. napon) elérte a NAR a maximális értékét, míg a többi kezelés esetében ez a 10 leveles állapotnál következett be. 2006-ban a NAR értékei megközelítőleg azonosak voltak hat héten át (a vetéstől számított 45.-95. nap között). A HP-modell alapján a LAR dinamikája minden évben és kezelésben hasonló lefutást mutatott a klasszikus módszerrel kapott LAR dinamikával. A LAR értékek között szignifikáns eltérést kaptunk az évjáratok és a különböző trágyakezelések között is.

5.23. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényegyedek növekedését jellemző mutatók alakulására, a vizsgált években (2005-2007)

	Kezelések	$AGR_{átl}$ (g nap^{-1})	$ALGR_{átl}$ (cm^2 nap^{-1})	$NAR_{átl}$ (g m^{-2} nap^{-1})	$RGR_{átl}$ (g g^{-1} nap^{-1})	$RLGR_{átl}$ ($mm^2mm^{-2}nap^{-1}$)	$LAR_{átl}$ (cm^2 g^{-1})	$SLA_{átl}$ (cm^2 g^{-1})	$LWR_{átl}$ (g g^{-1})
2005	1	1,34 c †	59,97 c	7,898	0,0676 ‡	0,0505	107,46	132,07	0,312
	2	1,64 b	64,90 b	8,174	0,0717	0,0394	103,28	125,14	0,298
	3	1,83 ab	85,02 a	7,226	0,0699	0,0388	103,48	138,68	0,290
	4	1,80 ab	86,97 a	7,624	0,0720	0,0447	102,58	148,88	0,284
	5	1,87 a	80,74 a	7,813	0,0668	0,0415	106,70	138,75	0,288
	6	1,91 a	83,26 a	7,426	0,0662	0,0436	96,75	143,75	0,278
	7	1,89 a	82,49 a	7,153	0,0658	0,0328	94,36	145,50	0,281
	$SzD_{kezelés}$	*	***	NS	–	–	–	–	–
2006	1	1,33 d	68,28 c	10,241	0,1032	0,0795	128,26	162,59	0,362
	2	1,70 c	77,84 b	11,511	0,1053	0,0776	128,89	167,02	0,343
	3	1,86 abc	88,69 ab	11,499	0,1044	0,0795	138,25	173,12	0,338
	4	1,88 abc	82,32 b	11,154	0,1072	0,0799	130,01	173,12	0,324
	5	1,77 b	78,99 b	11,004	0,1073	0,0811	133,80	171,93	0,335
	6	2,00 ab	86,62 ab	10,817	0,1055	0,0791	132,88	173,56	0,324
	7	2,06 a	94,12 a	10,997	0,1070	0,0808	135,51	177,10	0,325
	$SzD_{kezelés}$	*	***	NS	–	–	–	–	–
2007	1	1,60	50,63 c	9,361	0,1079	0,1093	156,34	184,27	0,349
	2	2,18	67,74 ab	10,861	0,1114	0,1072	168,24	180,40	0,334
	3	2,32	71,59 ab	10,008	0,1108	0,1050	168,85	199,80	0,338
	4	1,81	65,27 b	8,914	0,1071	0,0949	169,01	187,23	0,349
	5	2,16	68,43 ab	10,193	0,1066	0,0946	156,62	186,23	0,341
	6	1,97	68,96 ab	9,149	0,1057	0,0929	177,04	186,83	0,351
	7	2,09	72,90 a	9,495	0,1063	0,0933	170,07	185,22	0,342
	$SzD_{kezelés}$	NS	***	NS	–	–	–	–	–
$SzD_{5\%kezelés\times év}$		0,32 ^{NS}	8,16 *	NS	–	–	–	–	–

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján. ‡Hunt et al. (2002) növekedésanalízis program alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

Az $AGR_{átl}$ kedvező évjáratokban jól jellemezte a különböző trágyahatásokat, amelyek szignifikánsan különböztek, míg aszályos évben nem figyelhettünk meg trágyahatást. Az $ALGR_{átl}$ értékeire minden évben szignifikáns hatással voltak a trágyázási kezelések. A kukorica a NAR maximumát évjárattól függetlenül, a vetés utáni 45.-51. napon érte el, a 8-10 leveles fenológiai stádiumban. A $NAR_{átl}$ értékekre a trágyázási kezeléseknek nem volt szignifikáns hatása, a vizsgált években. Az $RGR_{átl}$ értékek csapadékos és aszályos évben is az 5., 6., 7. kezelésekben voltak a legalacsonyabbak és a 2. kezelésben a legmagasabbak, tehát az évjárat nem befolyásolta a különböző kezelések hatását az RGR értékeire. Csapadékos években szignifikáns különbség volt $RLGR_{átl}$ értékei között a kezelések hatására, aszályos évben nem. A mért értékek alapján az évjáratok és a különböző trágyakezelések is szignifikánsan befolyásolták a LAR értékét. A $LAR_{átl}$ értékek minden trágyakezelésben 2005-ben voltak szignifikánsan a

legalacsonyabbak, és 2007-ben a legmagasabbak. Az $SLA_{átl}$ értékek aszályos évben voltak a legmagasabbak (180-200 cm^2 g^{-1}), kedvező évjáratokban jelentősen alacsonyabb értékeket mutattak (2005: 125-149 cm^2 g^{-1}; 2006: 163-177 cm^2 g^{-1}).

A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényállomány növekedését jellemző mutatók alakulására

A szerves- és műtrágya hatását a kukorica növényállomány növekedését jellemző mutatók (LAI_{max}, CGR_{max}, LAD, BMD, HI) alakulására a vizsgált években (2005-2007), az *5.24. táblázatban* foglaltuk össze.

Csapadékos évjáratban (a levélterület dinamikájához hasonlóan) a hét kezeléshatás jól elkülöníthető a LAI szezonális dinamikájában a mért értékek alapján, míg aszályos évben csökkent a trágyázási kezelések közötti különbség. A LAI dinamika HP-modellje nem tudta visszaadni a levélterület maximum fennmaradásának idejét. A növekedésanalízis funkcionális módszerének előnye, hogy az adatai jól illeszkednek, hátránya viszont, hogy túlbecsüli a maximum értékeket a függvényillesztés tulajdonságaiból adódóan. Az évek átlagában statisztikailag igazolhatóan a legmagasabb LAI_{max} értékeket a 3., a 6. és a 7. kezelésekben kaptuk (3,52 - 3,65 m^2 m^{-2}), a legalacsonyabbat pedig, a kontroll kezelésben (2,72 m^2 m^{-2}). Aszályos évben a hat trágyázási kezelés LAI_{max} értékei között nem volt szignifikáns eltérés.

A maximális CGR értékeket 2006-ban és 2007-ben a vetés utáni 51. napon mértük, míg 2005-ben a 45. napon. A trágyázás növelte a CGR_{max} értékét, ami aszályos évben, minden trágyakezelésben csaknem a duplája volt a kedvező évjáratban kapott CGR maximum értékeknek. A CGR_{max} értékek között évjárattól függetlenül szignifikáns különbséget kaptunk a trágyázási kezelések hatására. A HP-modell alapján a CGR görbe lefutása szabályos, és szoros hasonlóságot mutatott az AGR és a LAI görbéjével.

A LAD és BMD értékek hasonlóan alakultak, minden évben a kontroll kezelésben volt a legalacsonyabb, s a nagyarányú műtrágya kezelésben (7. kezelés) a legmagasabb az értékük. A 3. és 4. kezelés hatása között nem volt szignifikáns különbség a LAD és a BMD értékekben, ugyanakkor jelentős különbséget figyelhettünk meg az évjárat hatására. A varianciaanalízis alapján aszályos évjáratban a trágyázásnak nem volt matematikailag igazolható hatása a LAD, a BMD és a Harvest index értékére a kontroll kezeléshez viszonyítva. A kapott LAD és BMD értékek minden kezelésben 2005-ben voltak a legmagasabbak, kivéve a kontroll kezelés esetében, ahol a 2007-es, aszályos évben.

5.24. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényállomány növekedését jellemző mutatók alakulására, a vizsgált években (2005-2007)

	Kezelések	LAI_{max} (m^2 m^{-2})	CGR_{max} (g m^{-2} nap^{-1})	LAD (cm^2 nap^{-1})	BMD (kg $növény^{-1}$)	HI (%)
2005	1	2,14 c †	13,58 d	155,25 e	10,55 e	48,81 c
	2	2,31 c	18,68 c	176,51 e	13,20 d	50,93 bc
	3	3,15 ab	20,01 abc	238,47 c	16,44 bc	54,61 ab
	4	3,14 ab	22,67 ab	258,12 b	17,57 b	55,24 a
	5	2,88 b	19,56 bc	217,43 d	15,31 c	53,57 b
	6	3,30 a	22,84 ab	274,51 ab	19,06 a	55,18 a
	7	3,35 a	23,12 a	288,03 a	19,62 a	55,07 a
	$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***	***
2006	1	2,62 c	20,33 b	144,75 d	9,62 e	43,76 d
	2	2,99 c	26,93 ab	175,40 c	12,39 d	47,84 c
	3	3,39 ab	32,58 a	211,80 b	14,50 c	54,07 a
	4	3,14 b	32,38 a	210,62 b	15,89 b	53,76 a
	5	3,01 b	32,66 a	180,61 c	13,04 d	49,00 c
	6	3,31 ab	34,95 a	218,54 ab	16,27 ab	49,49 bc
	7	3,61 a	35,02 a	236,77 a	17,38 a	53,12 ab
	$SzD_{kezelés}$	***	*	***	***	***
2007	1	3,41 b	32,37 c	174,90	11,17	42,20
	2	3,91 a	39,87 ab	188,77	13,00	42,05
	3	4,02 a	41,79 ab	207,79	14,00	45,63
	4	3,97 a	35,51 bc	179,82	11,89	43,25
	5	4,03 a	37,65 abc	189,51	13,25	45,37
	6	4,30 a	42,47 a	192,11	12,36	42,23
	7	3,99 a	39,29 ab	188,59	12,61	41,98
	$SzD_{kezelés}$	*	*	NS	NS	NS
$SzD_{5\%kezelés\times év}$		0,33**	NS	20,05***	1,53***	3,57***

Szignifikancia szintek: ***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, ^{NS} = nem szignifikáns.
†Mérési adatok, amelyeket azonos betű követ egy oszlopon belül, szignifikánsan nem különböznek $SzD_{5\%}$-os szinten a varianciaanalízis alapján.
A kezelések leírását lásd a 4.1. táblázatnál

A betakarításkori HI egyaránt jól jellemezte a trágyázás hatását és az évjárathatást. Kedvező évjáratokban a legalacsonyabb HI értékeket a kontroll kezelésben kaptuk, majd a hatóanyag növelésével egyenes arányban nőtt a HI értéke is. 2005-ben a legmagasabb HI értékeket a 4., 6. és 7. kezelésekben (55,1 – 55,2 %), 2006-ban pedig a 3., 4. és 7. kezelésekben (53,1 – 54,1 %) kaptuk. Aszályos, 2007-es évjáratban a kontroll kezelés HI értéke felülmúlta a nagyarányú műtrágyázás hatására elért HI értéket, de statisztikailag értelmezhető különbség nem volt a trágyázási kezelések között.

A termés és a növekedési mutatók, illetve termés és a terméskomponensek összefüggésvizsgálata

Többszörös regresszióanalízisel vizsgáltuk a kukorica szemtermését meghatározó terméskomponensek, illetve növekedési mutatók közötti kapcsolatok korrelációs koefficiens értékeit a Pearson-próba, illetve a növekedési mutatók közötti parciális korreláció alapján.
A Pearson-féle korreláció alapján nagyon szoros, pozitív kapcsolatot kaptunk (P = 0,1 %-os szinten) a termés és a szárazanyag_{max}, a csövenkénti szemszám, az ezerszemtömeg és a HI esetében, míg a CGR_{max} esetében szoros, negatív kapcsolatot találtunk. A parciális korreláció egy szigorúbb bírálat, amely alapján szoros, pozitív kapcsolatot (P = 5 %-os szinten) csak a termés és a szárazanyag_{max}, valamint az ezerszemtömeg között találtunk.
A Pearson-féle korreláció és a parciális korreláció alapján is igen szoros, illetve szoros pozitív kapcsolat állapítható meg a CGR_{max}, valamint a LAI_{max}, és a $NAR_{átl}$ között (P = 0,1, 1 és 5 %-os szinten). Mindkét mátrix eredménye szerint akkor érhető el nagyobb CGR_{max} érték, ha mind a LAI_{max}, mind a $NAR_{átl}$ nagyobb értéket ér el. Mindkét korreláció alapján negatívan befolyásolta a termést a LAI_{max}, és a $NAR_{átl}$, ez azonban szignifikánsan nem volt igazolható.

A parciális korreláció eredménye szerint, az összes szárazanyag maximális értéke és az ezerszemtömeg együttesen mintegy 60 %-ban határozta meg a kukorica szemtermésének varianciáját, ami sokkal reálisabb képet ad a változók közötti összefüggésekről, mint a Pearson-féle korreláció során kapott eredmény (R^2 = 97,4 %). A változó párok közötti parciális korrelációs mátrix alkalmazásával tehát valós képet kapunk, hiszen kiszűri az egyéb változók közvetett hatását oly módon, hogy a változó párok közötti parciális korrelációt hozzáigazítja a mátrix összes többi változójához.

Az „Enter” módszer elemzése szerint, a két terméskomponens csapadékos évjáratokban 62, illetve 59 %-ban értelmezte (R^2_{2005} = 62,3 %; R^2_{2006} = 58,8 %) a szemtermés alakulását, míg aszályos évjáratban sem az ezerszemtömegnek, sem a csövenkénti szemszámnak nem volt szignifikáns hatása a termésre (R^2_{2007} = 4,5 %). A kezelések és a három év átlagában végzett elemzés alapján, az ezerszemtömeg hatása a termésre (β = 0,721) mintegy 3,75-szerese volt a csövenkénti szemszám hatásához képest (β = 0,192). Mindhárom évben, az ezerszemtömegnek volt nagyobb hatása a termésre, de ez 2007-ben nem volt szignifikáns.

5.7.2. Új tudományos eredmények

1. A martonvásári 51 éves trágyázási tartamkísérletben a Hunt-Parsons (HP) növekedésanalízis modell harmadfokú exponenciális függvénnyel ($\ln W = a + bx + cx^2 + dx^3$) jellemezte a trágyázási kezelések hatását az összes szárazanyag produkció és a szemtermés alakulására, illetve másod- és harmadfokú exponenciális függvénnyel ($\ln Z = a + bx + cx^2$ és $\ln Z = a + bx + cx^2 + dx^3$) a levélterület változását.

2. A kukoricanövény trágyázási kezelésektől és évjárattól függő növekedését pontosan jellemezték a HP-modellel számított abszolút növekedési sebesség (AGR), levélterület abszolút növekedési sebessége (ALGR), levélterület arány (LAR), levélterület index (LAI), termésnövekedés sebessége (CGR), levélterület tartósság (LAD), biomassza tartósság (BMD) és harvest index (HI) növekedési mutatók pillanatnyi értékei és dinamikája.

3. A Hunt et al. (2002) által kifejlesztett kalkulátorral számított mutatók átlagos értékei hasonlóan jól jellemezték a trágyázási kezelések és az évjárat hatását, valamint a statisztikailag igazolható különbségeket.

4. Az 51 év (1958-2009) összevont analízise alapján az istállótrágya + NPK műtrágya kombináció termésre gyakorolt hatása nem különbözött statisztikailag igazolhatóan az NPK műtrágyázás hatásától. Legkisebb termésstabilitása a kontroll kezelésnek és a magas dózisú NPK műtrágyázásnak, míg legnagyobb termésstabilitása az alacsony trágyázási kezeléseknek, illetve a 70 t ha^{-1} istállótrágyának volt.

5. Az általunk vizsgált években (2005-2007) statisztikailag igazolt legmagasabb termést csapadékos évben a 70 t ha^{-1} istállótrágyát fele részben, illetve teljes mértékben helyettesítő NPK-dózisnál mértük (9,22 és 9,82 t ha^{-1}), míg aszályos évben az alacsonyabb trágyázási szinten (3,01-3,18 t ha^{-1}), illetve a 70 t ha^{-1} istállótrágya alkalmazásakor (3,35 t ha^{-1}). Kísérleti adataink igazolták az istállótrágya termésnövelő hatását száraz évjáratokban.

6. A kukoricaszem nyersfehérje tartalmát, a kukoricalevél klorofill-, illetve összes-N-tartalmát statisztikailag igazolhatóan növelte a trágyázás magasabb dózisa és befolyásolta az évjárathatás.

7. A Hunt-Parsons növekedésanalízis modell lehetővé tette, hogy a növekedés teljes időszakában, illetve a növekedés különböző stádiumaiban pontosan jellemezzük a kukoricanövény és a különböző növényi szervek szárazanyag-produkciójának dinamikáját, valamint a levélterület növekedését.

8. A Pearson-féle korreláció és a többszörös regresszióanalízis pozitív szignifikáns összefüggést mutatott ki a szemtermés és a terméskomponensek, illetve a szemtermés és a szárazanyag produkció maximális értéke, valamint a harvest index között. Az összefüggésvizsgálatok kimutatták a termésnövekedési sebesség (CGR) és komponensei (levélterület index (LAI) és nettó asszimilációs ráta (NAR)) közötti szoros korrelációt.

6. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszere, és az ökofiziológiai mérések elősegítik az agronómiai reakciók pontos jellemzését, a reakcióhatások elkülönítését. A növekedésanalízis kutatások új összefüggéseket tárnak fel és adatokat szolgáltatnak a szimulációs modellekhez és a preciziós növénytermesztéshez. A kukoricahibridek növekedési dinamikájának és agronómiai reakcióinak tudományos vizsgálata nagymértékben hozzájárulhat a környezetkímélő, hatékony kukoricatermesztés tudományos megalapozásához. A martonvásári Mezőgazdasági Kutatóintézet tartamkísérletei egyedülálló lehetőséget kínálnak a különböző szerves- és műtrágya kezelések hatásának vizsgálatára, eltérő ökológiai körülmények között.

Az évjárathatás elemzése elsősorban a csapadékhiány jelentős terméslimitáló hatására mutatott rá (4,91, illetve 2,91 t ha^{-1} terméscsökkenés 2007-ben, a 2005. és 2006. évekhez viszonyítva), amelynek eredményeképpen a kísérleti kezelések hatása kevésbé vagy egyáltalán nem volt mérhető a terméseredményekben, ugyanakkor jól volt jellemezhető az évjárathatás a szárazanyag produkció és a levélterület index eltérő dinamikájával. Az istállótrágya és az NPK-műtrágya kombinációja biztosítja a nagy termés, és a megfelelő termésstabilitás elérését. Aszályos évjáratban a trágyázási kezeléseknek nem volt szignifikáns hatása a szemtermés mellett a terméskomponensek értékeire sem. Megállapítottuk ugyanakkor, hogy mind a szemtermésben, mind a terméskomponensekben, és a levél klorofill-tartalmában szignifikáns változásokat okozott az évjárathatás. Eredményeink is bizonyították, hogy aszályos években a műtrágyázás nagymértékű termésdepressziót okoz, míg az alacsonyabb dózisú műtrágyázás az időjárástól kevésbé függő, megbízhatóbb termést eredményez.

Az összes szárazanyag maximális értéke és az ezerszemtömeg együttesen mintegy 60 %-ban határozta meg a kukorica szemtermését, amit változók közötti parciális korreláció alkalmazásával állapítottunk meg. Többszörös regresszióanalízis eredménye alapján a két terméskomponens együttesen 76 %-ban értelmezte a szemtermés alakulását (R^2 = 75,9 %), ahol az ezerszemtömeg hatása mintegy 3,75-szorosa volt a csövenkénti szemszám hatásának (β = 0,721 vs. β = 0,192).

Korábbi eredményekkel megegyezően bizonyítottuk, hogy a SPAD-502 klorofill-mérő műszer alkalmas a kukorica növény N-ellátottságának jellemzésére a szemtelítődés időszakában. Igazoltuk, hogy a kukoricaszem nyersfehérje tartalma nagy terméshozamú években szignifikánsan kisebb a trágyakezelések átlagában (7,35 %), mint aszályos évjáratban (8,00 %). Bizonyítottuk, hogy nagyarányú műtrágyázás alkalmazásával, hosszú ideje tartó monokultúrás termesztésben is kiemelkedő szem nyersfehérje tartalom eredményeket érhetünk el.

A szárazanyag-produkció rendszeres (14-21 naponkénti) meghatározása lehetővé tette a kukoricanövény növekedési dinamikájának összehasonlító vizsgálatát a különböző kezelésekben, a növény növekedésének teljes időszakában. A Hunt-Parsons növekedésanalízis program használatával szignifikáns különbségeket kaptunk a kísérletben alkalmazott különböző szintű istálló-, és műtrágyázási kezelések és az eltérő évjáratok között. A növekedésanalízis-vizsgálatok során megállapítottuk, hogy a kezelések jelentősen befolyásolják a növény szárazanyag-felhalmozódásának dinamikáját és a levélterület növekedését. A kukorica növekedési dinamikáját a kezelések és évjárat hatására legpontosabban az abszolút növekedési sebességgel (AGR), a termésnövekedés sebességgel (CGR) és a levélterület indexszel (LAI) tudtuk jellemezni.

A szakirodalmi adatokkal megegyezően, a növekedésanalízis funkcionális módszerét alkalmazva, a nettó asszimilációs ráta (NAR) értékei között szignifikáns eltérést kaptunk az évjáratok és a különböző trágyakezelések között is, míg a klasszikus módszerrel csak az évjárathatás volt szignifikánsan igazolható. A levélterület arány (LAR) elemzésekor, a függvényillesztés alkalmazásával sem tudtuk jobban elkülöníteni a kezeléshatásokat, mint a klasszikus módszer mellett. Száraz évjáratban, minden vizsgált kezelésben, magasabb nettó asszimilációs ráta (NAR) és levélterület arány (LAR) maximumokat kaptunk, mint hűvösebb, csapadékosabb évjáratban. A levélterület index (LAI) értékelésekor a növekedésanalízis funkcionális módszere túlbecsüli a LAI maximum értékeket, a függvényillesztés tulajdonságaiból adódóan, ezáltal nem tudja visszaadni a levélterület maximum fennmaradásának idejét.

Eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerét alkalmazva megbízhatóan értékelhetjük a különböző trágyakezelések, valamint az évjárat hatását a kukorica növekedésére, valamint a növekedési mutatók átlagos és maximális értékeinek alakulására a vegetatív növekedési szakaszban. A növekedésanalízist is magukba foglaló korszerű növénytermesztési kísérletek a kutatás magasabb szintjét és új agrotechnikai irányzatot képviselnek.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

PhD munkám során, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetben Martonvásáron, 1958-ban beállított kukorica monokultúra tartamkísérletben növekedésanalízissel és ökofiziológiai mérésekkel vizsgáltuk az istálló- és a műtrágya hatását a kukoricanövény (*Zea mays* L.) produkciójára, 2005-2007 között. Méréseink során arra kerestük a választ, hogy eltérő évjáratokban, azonos hatóanyag-tartalom mellett a szerves trágya, a műtrágya, vagy e kettő kombinációja biztosítja-e a legoptimálisabb tápanyagellátást a kukorica számára.

A kísérlet latin-négyzet elrendezésű, 2 trágyázási szintet (35 t ha^{-1} és 70 t ha^{-1} istállótrágya) és 7 kezelést tartalmaz (istállótrágya, istállótrágya + műtrágya és műtrágya formájában). A terméseredmények értékeléséhez kumulatív terméselemzést, varianciaanalízist és stabilitásanalízist alkalmaztunk. A kukorica szemtermése és a terméskomponensek, illetve a növekedési mutatók közötti kapcsolatokat regresszióanalízissel értékeltük. A növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerével értékeltük a kukorica növekedési mutatóinak dinamikáiban, valamint átlagos és maximális értékeiben bekövetkezett változásokat a trágyázási kezelések hatására.

A vizsgált hét kezelés átlagában a kukorica termése száraz években 3,959 t ha^{-1}, csapadékos években 6,250 t ha^{-1} volt, vagyis kedvező évjáratban a termésnövekedés 2,291 t ha^{-1} volt. Kedvező évjáratokban az istállótrágya + műtrágya kezelés termésre gyakorolt hatása szignifikánsan felülmúlta az istállótrágya hatását, azonban alulmaradt a műtrágya formájában kijuttatott azonos NPK-hatóanyag hatásától. Száraz évjáratban azonban, a trágyázási kezelések terméseredménye nem mutatott szignifikáns különbséget a kontroll kezelés eredményétől. A legnagyobb termésstabilitást azokban a kezelésekben értük el, ahol a 35 t ha^{-1} istállótrágya NPK hatóanyagtartalmát fele részben (17,5 t ha^{-1} istállótrágya + $N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$ műtrágya), vagy teljes egészében ($N_1P_1K_1$ műtrágya) műtrágya formájában juttattuk ki, illetve a 70 t ha^{-1} istállótrágya alkalmazásakor.

Eredményeink alapján a maximális összes szárazanyag és az ezerszemtömeg együttesen mintegy 60 %-ban határozta meg a kukorica szemtermését, ahol az ezerszemtömeg termésre gyakorolt hatása 3,75-szorosa volt a csövenkénti szemszám hatásának.

Növekedésanalízis-vizsgálataink alapján a Hunt-Parsons növekedésanalízis program használatával szignifikáns különbségeket kaptunk a kísérletben alkalmazott trágyázási kezelések és az eltérő évjáratok között, a kukoricanövény növekedésének különböző időszakaiban. A kukorica növekedési dinamikájának elemzésekor a függvényillesztésen alapuló funkcionális módszer jobb értelmezhetőséget eredményezett a nettó asszimilációs ráta (NAR) és a relatív növekedési sebesség (RGR) mutatóknál, míg a levélterület arány (LAR) esetében a függvényillesztés sem tudta jobban elkülöníteni a kezeléshatásokat, mint a növekedésanalízis klasszikus módszere.

SUMMARY

Comparative studies of the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth of maize in long-term experiments

In the course of the PhD work, growth analysis and eco-physiological measurements were used to examine the effect of farmyard manure (FYM) and mineral fertilisers on the yields of maize (*Zea mays* L.) between 2005 and 2007 in a long-term maize monoculture experiment set up at the Agricultural Research Institute of the HAS in Martonvásár in 1958. The aim was to determine whether organic manure, mineral fertiliser or a combination of the two provided the best nutrient supplies for maize in different years in the case of equal active agent contents.

The experiment was set up in a Latin square design with two fertilisation levels (35 and 70 t ha^{-1} FYM) and seven treatments (in the form of FYM, FYM + mineral fertiliser and mineral fertiliser). Cumulative yield analysis, analysis of variance and stability analysis were performed to evaluate the results. Correlations between the grain yield and yield components of maize and various growth parameters were evaluated using regression analysis. The classical and functional methods of growth analysis were applied to study how the dynamics and mean/maximum values of maize growth parameters changed in response to the fertiliser treatments.

Averaged over the seven treatments, the maize yield was 3.959 t ha^{-1} in dry years and 6.250 t ha^{-1} in wet years, i.e. the yield increment in favourable years was 2.291 t ha^{-1}. In favourable years the effect of the FYM + mineral fertiliser treatment on the yield was significantly greater than that of FYM alone, but was smaller than that of the same NPK active agent quantity applied in the form of mineral fertiliser. In dry years, however, the yields in the fertiliser treatments did not differ significantly from that in the control. The greatest yield stability was achieved when the NPK active agent content of 35 t ha^{-1} FYM was replaced in part (17.5 t ha^{-1} FYM + $N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$) or in full ($N_1P_1K_1$) by mineral fertiliser, or when applying 70 t ha^{-1} FYM.

The results indicated that around 60% of the maize grain yield could be attributed to the maximum total dry matter and the thousand-kernel weight, where the effect of the thousand-kernel weight on the yield was 3.75 times that of the kernel number per ear.

The application of the Hunt–Parsons growth analysis program revealed significant differences between the fertilisation treatments and the years in various stages of growth. In the analysis of growth dynamics, the functional method of growth analysis, based on fitting functions to the data, gave a clearer interpretation of the parameters net assimilation rate (NAR) and relative growth rate (RGR), while in the case of leaf area ratio (LAR) the treatment effects could not be distinguished any better using function fitting than with the classical method of growth analysis.

8. MELLÉKLETEK

M1. Irodalomjegyzék

1. Adalena, B.O., Milbourn, G.M. (1972): The growth of maize. II. Dry matter partition in three maize hybrids. *J. Agric. Sci.* Cambridge. 78, 73-78.
2. Alföldi Z. (1997): Kukorica (Zea mays L.) genotípusok N-műtrágya reakciójának összehasonlító vizsgálata. Ph.D. értekezés. Pannon Agrártudományi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
3. Alföldi, Z., Csikász., T. (2000): Grain growth analysis of maize hybrids under different N-fertilization. In: *Crop development for the cool and wet regions of Europe.* Eds.: Carlier, L. et al. Pithan Cost Action 814: N-use efficiency. European Communities, Brussels, Belgium. 266-272.
4. Arnon, I. (1975): Mineral Nutrition of Maize. International Potash Institute, Bern.
5. Árendás T. (1998): Műtrágyák és szervestrágyák hatása erdőmaradványos csernozjom talajon és néhány jellegzetes hazai talajtípuson. Kandidátusi (Ph.D.) értekezés. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete, Martonvásár.
6. Árendás, T., Csathó, P. (1994): Azonos NPK-hatóanyagú szerves- és műtrágyázás hatása a talajtulajdonságok függvényében. *Agrokémia és Talajtan*. 43, 399-407.
7. Árendás T., Csathó P. (1996): Evaluation of the Hungarian long-term field trials, comparing the effect of equivalent nutrients given in the form of farmyard manure or fertilizers, resp. In: *IXth International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition.* Eds.: P. Martin-Prével and J. Baier. IAOPN-RICP-CUA. Prague. 410-413.
8. Árendás, T., Csathó, P. (2002): Comparison of the effect of equivalent nutrients given in the form of farmyard manure or fertilizers in Hungarian long-term field trials. Commun. *Soil Sci. Plant Anal*. 30, 2861-2878.
9. Bajai J. (1959): Összefüggés a kukorica levélfelülete és a tenyészterület különféle alakja között. *Növénytermelés*. 3, 217-222.
10. Baligar, V.C., Duncan, R.R. (1990): Crops as Enhancers of Nutrient Use. Academic Press. San Diego.
11. Balla A.-né (1964): Az istállótrágyázás és a műtrágyázás hatásának összehasonlítása a világ ismertebb tartamkísérleteiben. *Agrokémia és Talajtan*. 13, 385-414.
12. Balla A.-né (1973): Az istállótrágya és a műtrágya hatását összehasonlító martonvásári tartamkísérletek 12 éves eredményei. *Agrokémia és Talajtan*. 22, 101-114.

13. Balla A.-né (1980): Istállótrágyázási és műtrágyázási kísérletek Martonvásáron 1958-1978-ban. *Növénytermelés*. 29, 347-356.
14. Balla A.-né, Sarkadi J. (1977): Kukorica- és búzatermesztési kísérletek mono-kultúrában és vetésváltással. *Növénytermelés*. 26, 69-79.
15. Bauer F. (1984): Növénytermesztés és tápanyaggazdálkodás Duna-Tisza közi homoktalajokon. *Agrokémia és Talajtan*. 33, 170-174.
16. Bazzaz, F.A., Harper, J.L. (1977): Demographic analysis of the growth of Linum usitatissimum. *New Phytol.* 78, 193-208.
17. Bálint A. (Szerk.) (1977): A kukorica jelene és jövője. Mezőgazdasági Kiadó.
18. Beaven, E.S. (1914): cit. Donald, C.M., Hamblin, J. (1976): The biological yield and harvest index of cereals as agronomic plant breeding criteria. *Adv. Agron.* 28, 361-405.
19. Berzsenyi Z. (1992): A N-műtrágyázás és a növényszám hatása a kukoria (Zea mays L.) harvest indexének, biomassza produkciójának és szemtermésének változására az 1986-1990. években. *Növénytermelés*. 41, 43-57.
20. Berzsenyi Z. (1993a): Növekedésanalízis a kukoricatermesztési kutatásokban. Akadémiai Doktori Értekezés.
21. Berzsenyi Z. (1993b): A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukoricahibridek szemtermésének és N-műtrágyareakciójára tartamkíséretekben az 1970-1991. években. *Növénytermelés*. 42, 49-63.
22. Berzsenyi Z. (1993c): A N-műtrágyázás hatása a kukorica (Zea mays L.) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 42, (5) 457-471.
23. Berzsenyi Z. (1996): A N-műtrágyázás hatásának vizsgálata a kukorica (Zea mays L.) növekedésére Hunt-Parsons modellel. *Növénytermelés*. 45, (1) 35-52.
24. Berzsenyi Z. (2000a): Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Review. *Növénytermelés*. 49, (4) 389-404.
25. Berzsenyi Z. (2000b): Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Egyetemi jegyzet, Keszthely.
26. Berzsenyi Z. (2002): A növekedésanalízis funkcionális módszere. Review. *Növénytermelés*. 51, (4) 449-467.
27. Berzsenyi, Z. (2003): Crop production research in multifuncional agriculture. *Acta Agronomica Hungarica.* 51, 91-99.
28. Berzsenyi Z. (2006): Növekedésanalízis és alkalmazása a gyomnövény-kultúrnövény-kutatásban. Review. *Növényvédelem*. 42, (7) 371-386.
29. Berzsenyi Z. (2009): Az ötven éves martonvásári tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés

fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 37-49.

30. Berzsenyi Z.: 2010. Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése varianciaanalízissel. In: Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztéstan. Szerk.: Radics L. Agroinform Kiadó. Budapest. 419-445.
31. Berzsenyi, Z., Árendás T., Bónis, P., Micskei, G., Sugár, E. (2011): Long-term effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the yield and yield stability of maize (Zea mays L.) in dry and wet years. Acta Agronomica. 59, (4) 191-200.
32. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1994a): Az istálló- és műtrágya hatásának össze-hasonlító értékelése a hatóanyag-azonosság elve alapján kukorica monokultúrában. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni B.-Debreczeni B.-né. Akadémiai Kiadó. Budapest. 313-314.
33. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1994b): Az istálló- és műtrágya hatásának össze-hasonlító értékelése a hatóanyag-azonosság elve alapján búza-kukorica dikultúrában. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni B.-Debreczeni B.-né. Akadémiai Kiadó. Budapest. 314-315.
34. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1996): A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 45, (3) 281-296.
35. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1997a): A vetésforgó és a trágyázás hatása a búza termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 46, 145-161.
36. Berzsenyi Z., Győrffy B. (1997b): Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica (Zea mays L.) termésére és termésstabilitására monokultúra tartamkísérletben. Növénytermelés. 46, 509-527.
37. 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.
38. Berzsenyi Z., Lap D.Q. (2004): Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica (Zea mays L.) termésére és termésstabilitására monokultúrás és dikultúrás tartamkísérletekben. Növénytermelés. 53, (1-2) 119-139.
39. Berzsenyi, Z., Lap, D.Q., Micskei, G., Sugár, E., Takács, N. (2007): Effect of maize stalks and N fertilisation on the yield and yield stability of maize (Zea mays L.) grown in a monoculture in a long-term experiment. Cereal Research Communications. 35, 249-252.
40. Berzsenyi Z., Ragab A.J., Lap D.Q. (1998): A vetésidő hatása a kukoricahibridek (Zea mays L.) növekedési jellemzőire (a klasszikus módszer és a HP-modell összehasonlítása). Növénytermelés. 47, (6) 655-676.

41. Berzsenyi Z., Solymosi P., Árendás T., Bónis P. (2009): herbicid kezelések hatása a gyomnövényzet tömegviszonyaira a martonvásári tartamkísérletben. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 67-75.
42. Blackman, V.H. (1919): The compound interest law and plant growth. Ann. Bot. 33, 353-360.
43. Bocz E. (1976): Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 257 p.
44. Bocz E., Nagy J. (1981): A kukorica víz és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. Növénytermelés. 30, (6) 539-549.
45. Bocz E., Sárvári M., Nagy J. (1983): Kukoricahibridek műtrágya- és öntözővíz reakciója, kukorica számára kedvező talajon. In: ATE Kutatási eredmények. Debrecen. 24-27.
46. Briggs, G.E., Kidd, F., West, C. (1920a): A quantitative analysis of plant growth. I. Relative growth rate. Ann. Appl. Biol. 7, 103-123.
47. Briggs, G.E., Kidd, F., West, C. (1920b): A quantitative analysis of plant growth. II. Unit leaf rate. Ann. Appl. Biol. 7, 202-223.
48. Carlone, M.R., Russell, W.A. (1987): Response to plant densities and nitrogen levels for four maize cultivars from different eras of breeding. Crop Sci. 27, 465-470.
49. Causton, D.R. (1967): Some Mathematical Properties of Growth Curves and Applications to Plant Growth Analysis. Ph. D. Thesis, University of Wales.
50. Causton, D.R., Venus, J.C. (1981): The Biometry of Plant Growth. Edward Arnold, London.
51. Charles-Edwards, D.A., Fisher, M.J. (1982): Physiological Determinants of Crop Growth. Academic Press Australia.
52. Christensen, B.T. (1997): The Askov long-term field experiments. Arch. Acker- Pfl. Boden. 42, 265-278.
53. Cochran, W.G., Cox, G.M. (1950): Experimental Design. Wiley, New York.
54. Coombe, D.E. (1960): An analysis of the growth of Trema guineensis. J. Ecol. 48, 219-231
55. Crossa, J. (1990): Statistical analyses of multilocation trials. Adv. Agron. 44, 55-85.
56. Cserháti S. (1900): Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda, Magyar-Óvár.
57. Cserháti S. (1921): Általános és különleges növénytermelés 1-2. köt. Budapest. Eggenberger Kiadó.
58. Cserháti S., Kosutány T. (1887): A trágyázás alapelvei. Országos Gazdasági Egyesület Könyvkiadó Vállalat. Budapest.

59. Csikász T. (1998): Napraforgó hibridek tányéronkénti kaszat szárazanyag-felhalmozódásának (TKSZF) vizsgálata növekedésanalízissel. Ph.D. értekezés. Pannon Agrártudományi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
60. Csikász, T., Alföldi, Z., Józsa, S., Treitz, M. (2002): Use of growth analysis to evaluate genetic mechanisms affecting achene yield formation of sunflower. Journal of Central European Agriculture. 3, (3) 179-188.
61. Czuba R. (1978): A szerves- és műtrágyázás együttes hatása. In: Tanulmányok a trágyázásról. Szerk.: Czuba R. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 33-44.
62. Debreczeni B.-né. (1994): A növények tápelemtartalma és a műtrágyázás. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni B., Debreczeni B-né. Akadémiai Kiadó. Budapest. 40-53.
63. Debreczeni B.-né (2009): Nemzetközi áttekintés a világ szántóföldi tartamkísérleteiről. In: Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti eredményei (1967-2001). Szerk.: Debreczeni B.-né és Németh T. Akadémiai kiadó. Budapest. 19-23.
64. Debreczeni B., Debreczeni B.-né (Szerk.) (1994): Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó. Budapest.
65. Debreczeni B.-né, Németh T. (Szerk.) (2009): Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti eredményei (1967-2001). Akadémiai kiadó. Budapest.
66. DeLoughery, R.L., Crookston, R.K. (1979): Harvest index of corn affected by population density, maturity ratings, and environment. Argon. J. 71, 577-580.
67. Donald, C.M. (1962): In search of yield. J. Aust. Inst. Agr. Sci. 28, 171-178.
68. Dobrzanski, B. (1959): Einfluss der Düngung auf den Humusgehalt des Bodens. Z. Pflanzen Ernährung Düngung. 84, 122-127.
69. Duvick, D.N. (1992): Genetic contributions to advances in yield of U.S. maize. Maydica. 37, 69-79.
70. Egli, D.B. (1998): Seed Biology and the Yield of Grain Crops. CAB International, Oxford.
71. Evans, G.C. (1972): The quantitative analysis of plant growth. Blackwell Scientific Publications. p. 734.
72. Evans, G.C., Hughes, A.P. (1962): Plant Growth and the serial environment. III. On the computation of unit leaf rate. New Phytol. 61, 322-327.
73. Ferencz V. (1958): A kukoricanövény tápanyaggazdálkodásának tanulmányozása. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1953-1957. Szerk.: I'so I. Akadémai Kiadó, Budapest. 59-79.
74. Fisher, R.A. (1921): Some remarks on the methods formulated in a recent article on the quantitative analysis of plan growth. Ann. Appl. Biol. 7, 367-372.

75. Fischer, R.A. (1951): The design of experiments. 6th ed. Oliver and Boyd, Edinburgh.
76. Futó Z., Sárvári M. (2003): A vetésidő hatása a kukorica (Zea mays L.) termésére eltérő évjáratokban. Növénytermelés. 52, 1-16.
77. Gardner, F.P., Pearce, R.B., Mitchell, R.L. (1985): Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames.
78. Gazdagné Torma M. (1998): A vöröshagyma gyomnövényei és az ellenük való védekezés. Ph.D. értekezés. DATE Főiskolai Kar, Hódmezővásárhely.
79. Geisler, G. (1981): Ertragsbildung von Kulturpflanzen. Erträge der Forschung. Bänd 149. Wissenschaftliche Buchgesellschaft. Darmstadt. p. 200.
80. GenStat (2002): GenStat Release 13.1. Copyright 2002. Lawes Agricultural Trust, Rothamsted.
81. Grábner E. (1935): Szántóföldi növénytermesztés. "Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt. Budapest.
82. Gregory, F.G. (1918): Physiological conditions in cucumber houses. In: Annual Report of the Experimental Research Station. Turner's Hill, Cheshunt, Herts. 3. 19-28.
83. Gregory, F.G. (1926): The effect of climatic conditions on the growth of barley. Ann. Bot. 40, 1-26.
84. Grimme, J.P., Hunt, R. (1975): Relative growth rate: its range and adaptive singificance in a local flora. J. Ecol. 63, 393-422.
85. Gyárfás J. (1925): Sikeres gazdálkodás szárazságban. "Pátria" Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt. Budapest.
86. Gyárfás B. (1926): A kukorica sortrágyázása. Köztelek. Budapest.
87. Győrffy B. (1962): A kukorica állománysűrűségének hatása a műtrágyák érvényesülésére. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1958-1960. Szerk.: I'só I. Akadémiai Kiadó. Budapest. 96-111.
88. Győrffy B. (1965): A kukorica tápanyagfelvétele. In: A növénytermesztés kézikönyve I. A kukorica. Szerk.: Győrffy B. et al. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 190-279.
89. Győrffy B. (1975): Vetésforgó-vetésváltás-monokultúra. Agrártudományi Közlemények. 34, 61-81.
90. Győrffy B. (1978): Műtrágyázás és növénytermesztés. In: Szaktanácsok a műtrágyázáshoz. Szerk.: Gyökér A. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 16-21.
91. Győrffy B. (1979a): Istálló- és műtrágya hatásának értékelése kukorica-monokultúrában a hatóanyag-azonosság elve alapján. Martonvásár 1959-1974. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1968-1974. Szerk.: Bajai J. Akadémiai Kiadó. Budapest. 279-289.

92. Győrffy B. (1979b): Istálló- és műtrágya hatásának értékelése vetésforgóban a hatóanyag-azonosság elve alapján. Martonvásár 1959-1974. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1968-1974. Szerk.: Bajai J. Akadémiai Kiadó. Budapest. 291-299.
93. Győrffy B. (1979c): Fajta-, növényszám- és műtrágyahatás a kukorica-termesztésben. Agrártudományi Közlemények. 38, 309-331.
94. Hanway, J.J. (1962): Corn growth and composition in relation to soil fertility. I. Growth of different plant parts and relation between leaf weight and grain yield. Agron. J. 54, 145-148.
95. Hanway, J.J., Russel, W.A. (1969): Dry-matter accumulation in corn (Zea mays L.) plants. Comprisons among single-cross hybrids. Agron J. 61, 947-951.
96. Harper, J.l. (1968). The regulation of numbers and mass in plant populations. In: Population Biology and Evolution. Ed.: R.C. Lewontin. Syracuse University Press, Syracuse, New York. 139-158.
97. Hay, R.M., Walker, A.J. (1989): An Introduction to the Physiology of Crop Yield. Longman, New York.
98. Hoffmann S. (2009): A talaj termékenységének változása szerves- és műtrágyázás hatására egy 46 éves szántóföldi tartamkísérletben. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 227-233.
99. Hoffmann, S., Berecz, K., Simon, S. (2010): Dependence of soil fertility on organic and mineral fertilization in a 46-year long-term field experiment. Acta Agronomica Hungarica. 58, (Suppl.) 35-40.
100. Holló S. (1988): A szerves- és műtrágyázás tartamhatásának összehasonlítása csernozjom barna erdőtalajon. In: Tápanyaggazdálkodás - Agroinform. Szerk.: Debreczeni B. és Miklay F-né. Budapest. 98-104.
101. Holló S. (1994): A szerves- és műtrágyázás tartamhatásának összehasonlító vizsgálata csernozjom barna erdőtalajon. In: Trágyázási kutatások 1960-1990. Szerk.: Debreczeni B.-Debreczeni B.-né. Akadémiai Kiadó. Budapest 324-329.
102. Holló S., Papp G., Pummer L. (1986): A trágyázás direkt és utóhatásának vizsgálata tartamkísérletekben. Növénytermelés. 35, (2) 124-137.
103. Hughes, A.P., Freeman, P.R (1967): Growth analysis using frequent small harvests. J. Appl. Ecol. 4, 553-560.
104. Hunt, R. (1978): Plant growth analysis. Studies in Biology. Arnold, London. No. 96, 67.
105. Hunt, R. (1979): Plant Growth Analysis: The rationale behind the use of the fitted mathematical function. Ann. Bot. 43, 245-249.

106. Hunt, R. (1982): Plant Growth Curves: The Functional Approach to Plant Growth Analysis. Edward Arnold Publ. London.
107. Hunt, R. (1990): Basic Growth Analysis. Unwin Hyman, London.
108. Hunt, R., Parsons, I.T. (1974): A computer program for deriving growth-functions in plant growth analysis. J. Appl. Ecol. 11, 297-307.
109. Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B., Askew, P. (2002): A modern tool for classical plant growth analysis. Annal of Botany. 90, 485-488.
110. Iványiné Gergely I. (1998): A tápanyagellátás hatása a rostkender szárazanyagfelhalmozódására és termésére. Ph.D. értekezés. DATE Mezőgazdasági Főiskolai Kar, Szarvas.
111. Iversen, K. (1960): Dänische Versuche mit Stalldünger und Kunstdünger. Bodenanalysen und Feldversuche. Z.f. Acker- und Pflanzenbau. 110, 1-32.
112. Izsáki Z. (2006): A N- és P-ellátottság hatása a kukoricaszem (Zea mays L.) fehérjetartalmára és aminosav-összetételére. Növénytermelés. 55, (3-4) 213-230.
113. Izsáki Z., Iványi I. (2002): A N-műtrágyázás hatása a talaj nitrogénmérlegére és a NO3-N kimosódására műtrágyázási tartamkísérletben. Növénytermelés. 51, (1) 115-124.
114. Jenkinson, D.S. (1991): The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? Agronomy Journal. 83, 1, 2-10.
115. Jenkinson, D.S., Rayner, J.H. (1977): The turnover of soil organic matter in some of the Rothamsted Classical Experiments. Soil Science. 123, 298-305.
116. Johnston, A. E. (1988): Benefits from Long-Term Ecological Research. Some examples from Rothamsted. In: Long-Term Ecological Research – A Global Perspective. Final Report of the International Workshop. 288-312.
117. Johnston, A. E. (1994): The Rothamsted Classical Experiments. In: Long-term Experiments in Agricultural and Ecological Scienses. 9-37.
118. Johnston, A.E., Poulton, P.R., Coleman, K. (2009): Soil organic matter: its importance in sustainable agriculture and carbon dioxide fluxes. Advances in Agronomy. 101, 1-57.
119. Jolánkai M., Nyárai H.F., Kassai K. (2009): A tartamkísérletek szerepe a növénytermesztési kutatásban és az oktatásban. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 31-35.
120. Kazinczi G. (2000): A gyomnövények és kultúrnövények versengése (kompetíció). In: Gyomnövények, gyomírtás, gyombiológia. Szerk.: Hunyadi K., Béres I., Kazinczi G. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 286-306.

121. Kádár I. (1991): A tartamtrágyázási kísérletek történetéről és jelentőségéről. Agrokémia és Talajtan. 40, (1-2) 285-296.
122. Kádár I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI. Budapest.
123. Kádár I. (Szerk.) (1996): Az Észszerű Mezőgazdaság Alapjai. IV. rész. Első fejezet: A trágyázástan. Albrecht Thaer. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest. 99 p.
124. Kismányoky T. (2009): A tartamkísérletek jelentősége a talajtermékenység kutatásában. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 107-114.
125. Kismányoky T., Jolánkai M. (2009): Magyarországi trágyázási tartamkisérletek. In: Debreczeni B.-né, Németh T. (Szerk.): Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kísérleti eredményei (1967-2001). Akadémiai kiadó. Budapest. 25-33.
126. Klapp, E., Schulze, E. (1960): Dänische Versuche mit Stalldünger und Kunstdünger. Z. f. Acker- und Pflanzenbau. 111, 435-440.
127. Koltay Á. (1967): Azonos hatóanyag-tartalmú szerves- és műtrágyaadagok közvetlen és utóhatása egyes búzafajták termésére. In: Trágyázási kísérletek 1955-1964. Szerk.: Sarkadi J. Akadémiai Kiadó. Budapest. 152-170.
128. Koselkov, P. N., Okszentjan, I. G., Oszipova Z. M., Harkov D. V. (1960): Vlijanie dlitelnovo vnyeszenia navoza i mineralnih udobrenii na plodorodie gyernovo-podzolisztoj tjázseloszuglinyisztoj pocsvi. Izd. Min. Sz/h. SzSzSzR. Moszkva.
129. Kováts A., Németh I., Cseh E., Kismányoki T. (1988): A szervestrágyázás néhány kérdése. In: Tápanyaggazdálkodás - Agroinform. Szerk.: Debreczeni B. és Miklay F-né. Budapest. 94-97.
130. Kralovánszky U.P. (1975): A fehérjeprobléma. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
131. Krantz, B.A., Chandler, W.V. (1951): Lodging, leaf-composition and yield of corn as influenced by heavy applications of nitrogen and potash. Agron. J. 43, 547-552.
132. Kreybig L. (1931): A trágyaszerek jövedelmező érvényesülésének feltételei. Pátria Irodalmi Vállalat és Nyomdai Rt. Budapest.
133. Kreybig L. (1951): Gyakorlati trágyázástan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
134. Kropff, M.J., van Laar, H.H. (1993): Modelling Crop-Weed Interactions. CAB International. Wallingford.
135. Kullmann, A. (1962): Über den Einfluss einiger Düngungsvarianten des Feldversuches "Ewiger Roggenbau" (Halle/S.) auf die Bodenstruktur. Albrecht-Thaer-Archiv. 6.

136. Květ, J., Svoboda, J., Fiala, K. (1969): Canopy development in stands of Typha latifolia L., and Phragmites communis. Trin. in South Moravia. Hydrobiológia. 10, 63-75.
137. Lambers, H., Cambridge, M.L., Konings, H., Pons, T.L. (eds.) (1989): Causes and consequences of variation in growth rate and productivity of higher plants. SPB Academic Publishing, The Hague.
138. Lambers, H., Poorter, H., Van Vuuren, M.M.I. (eds.) (1998): Inherent variation in plant growth. Physiological mechanisms and ecological consequences. Backhuys Publishers, Leiden.
139. Lap D.Q. (1992): Növényszám és műtrágyázás hatása a kukoricanövény növekedésére. Kandidátusi értekezés. MTA Budapest.
140. Lap D.Q., Berzsenyi Z. (1993): A növényszám x műtrágyázás interakció hatása a kukorica (Zea mays L.) biomassza produkciójára, szemtermésére és harvest indexére különböző évjáratokban. Növénytermelés. 42, (2) 171-183.
141. Lawes, J.B. (1847) Agricultural Chemistry. Journal of the Agricultural Society. VIII. Part I. Clowes, London.
142. Leigh, R.A., Johnston, A.E. (1994): Long Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences. CAB International. Wallingford, UK.
143. Mándy Gy. (1958): Ökológiai vizsgálatok kukoricafajtákkal. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1953-1957. Szerk.: I'so I. Akadémai Kiadó. Budapest. 91-103.
144. Mándy Gy. (1962): Nemesített kukoricafajták súlyváltozásai különböző környezetben a tenyészidő folyamán. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1958-1960. Szerk.: I'so I. Akadémiai Kiadó, Budapest. 20-77.
145. Menyhért Z. (Szerk) (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági kiadó, Budapest.
146. Merker, J. (1956): Untersuchungen an den Ernten und den Böden des Versuches "Ewiger Roggenbau" in Halle (Saale). Kühn-Archiv. 70, 153-213.
147. Millar, C. E. (1955): Soil Fertility. J. Wiley & Sons, INC. New York. p. 436.
148. MSAT-C (1991): A Microcomputer Program for the Design, Management and Analysis of Agronomic Research Experiments. MSTAT Development Team, Michigan State University.
149. Nagy J. (1988): A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukorica hibridek termésére. I. Növénytermelés. 37, 327-336.
150. Nagy J. (1995): A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (Zea mays L.) termésére eltérő évjáratokban. Növénytermelés. 44, 493-506.

151. Nagy J. (1996): A talajművelés és a műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (Zea mays L.) termésére. Agrokémia és Talajtan. 45, 113-124.
152. Németh I. (1995): Szervestrágyák hatásának összehasonlítása 30 éves tartamkísérletben. Növénytermelés. 44, (3) 237-249.
153. Nichiporovich, A.A. (1954): Fotosintezi teoriya polucheniya vysokikh urozhaev. Timiryazevskie Chteniya. 15, 1-93.
154. O'sváth J. (1964): Növényi növekedések matematikai meghatározása. MTA Agrár. Oszt. Közl. 23, 113-134.
155. Otegui, M.E., Andrade, F.H. (2000): New relationship between light interception, ear growth and kernel set in maize. In: Physiology and Modelling Kernel Set in Maize. Westgate, M.E., Boote, K. (eds.) CSSA Spec. Publ. No.29. CSSA, ASA, Madison, WI. 89-102.
156. Pekáry K. (1969): N-, P-, K-műtrágyaadagolási kísérletek kukoricával két Északkelet-Magyarországi termőhelyen. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1965-1968. Szerk.: I'só I. Akadémiai Kiadó. Budapest. 186-201.
157. Pekáry K., Kiskéri R. (1976): Az istállótrágya és a műtrágyák hatásának összehasonlítása kompolti tartamkísérletekben. Növénytermelés. 25, 149-161.
158. Pethes J., Kiss E., Debreczeni B.-né (1994): Őszi búzafajták nitrogén-trágya-reakciója. Növénytermelés. 43, 77-88.
159. Petr, J., Cerny, V., Hruska, L. (1985): A főbb szántóföldi növények termésképződése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
160. Porter, J.R., Lawlor, D.W. (1991): Plant growth: interactions with nutrition and environment. Cambridge University Press, Cambridge.
161. Powlson, D.S., Pruden, G., Johnston, A.E., Jenkinson, D.S. (1986): The nitrogen cycle in the Broadbalk Wheat Experiment: recovery and losses of 15N-labelled fertilizer applied in spring and input of nitrogen from atmosphere. J Agric Sci Camb. 107, 591-609.
162. Pozsgai J. (1982): Kompetíció a cukorrépa és gyomnövényzete között. Kandidátusi értekezés. Sopronhorpács.
163. Précsényi, I. (1977): Relationships between growth characteristics of maize hybrids and sugarbeet varieties. Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 23, (3-4): 361-366.
164. Précsényi I. (1980): Produkcióbiológia. In: Agrobotanika. Szerk.: Hortobágyi T. Mezőgazdasági kiadó. Budapest. 517-526.
165. Précsényi, I., Czimber, G., Csala, G., Szőcs, Z., Molnár, E., Melkó, E. (1976): Studies on the growth analysis of maize hybrid (OSSK-218 and DK XL-342). Acta Bot. Acad. Sci. Hung. 22, 185-200.

166. Radford, P.J. (1967): Growth analysis formulae: their use and abuse. Crop Sci. 7, 171-175.
167. Ragab A.Y. (1997): A vetésidő hatása a kukoricahibridek növekedésének dinamikájára és termésére. Kandidátusi (Ph.D.) értekezés. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete. Martonvásár.
168. Richards, F.J. (1959): A flexibe growth function for empirical use. Journal of Exp. Bot. 10, 290-300.
169. Richards, F.J. (1969): The quantitative analysis of growth. In: Plant Physiol. Ed.: Steward, F.C. 3-76.
170. Rotini, O. (1977): L'importance de la matiere organique pour la pro-ductivite des sols dans la region mediterranene au cours de- l'historie. In: Proceeding of Soil organic matters studies symposium. Braunschweig. I. A. E. A. Vienna. 3-7.
171. Rothamsted Guide (2006): Guide to the Classical and other Long-term Experiments, Datasets and Sample Archive. Rothamsted Research.
172. Russel, E. J. (1933): The Rothamsted experiments on the grown of wheat, 1843-1933. Ninety years of continouse wheat on one field. Agricultural Research. 522-542.
173. Russell, W.A. (1984): Agronomic performance of maize cultivars representing different eras of maize breeding. Maydica. XXIX: 375-390.
174. Russell, W.A. (1991): Genetic improvement of maize yields. Adv. Agron. 46, 245-298.
175. Sarkadi J. (1963): Szerves- és műtrágyák tápelemtartalmának érvényesülése tartamkísérletekben. I. Nitrogénforgalom. Agrokémia és Talajtan. 42, 293-308.
176. Sarkadi J. (1964): A szervestrágyák. In: Mezőgazdák talajismereti és trágyázási útmutatója. Szerk.: Di Gléria J. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 207-232.
177. Sarkadi J. (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
178. Sarkadi J. (1991): Szerves- és mûtrágyák hatása a búza és kukorica termésére. Agrokémia és Talajtan. 40, 87-96.
179. Sarkadi J. (1993): Szerves- és műtrágyák tápelemtartalmának érvényesülése tartamkísérletekben. I. Nitrogénforgalom. Agrokémia és Talajtan. 42, 293-308.
180. Sarkadi J., Bánó T. (1967): Szerves- és műtrágyák hatásának vizsgálata tartamkísérletekben. In: Trágyázási kísérletek 1955-1964. Szerk.: Sarkadi J. Akadémiai Kiadó. Budapest. 74-95.
181. Sárvári M. (1995a): A kukoricahibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. Növénytermelés. 44, 179-191.
182. Sárvári M. (1995b): Monokultúrás termesztés hatása a kukorica termésére réti talajon, műtrágyázási tartamkísérletben. Növénytermelés. 44, (4) 359-374.

183. Sárvári M., Győri Z. (1982): A monokultúrában és a vetésváltásban termesztett kukorica termésátlagának és minőségének változása különböző tápanyagellátás esetén. Növénytermelés. 31, 177-184.
184. Schepers, J.S., Francis, D.D., Virgil, M., Below, R.E. (1992): Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. Commun. Soil Sci. Plant Anal. 23, 2173-2187.
185. Sesták, Z., Catsky,J., Jarvis, P.G. (1971): Plant photosynthetic production. Manuals of methods. Junk Publisher. The Hague.
186. ’Sigmond E., Floderer S. (1906): Tanulmány a tengeri fejlődéséről és táplálkozásáról. In: Az Országos Magyar Királyi Növénytermesztési Kísérleti Állomás 1904. évi kísérleteinek eredménye. Budapest. 444-500.
187. Sinclair, T.R., Benett, J.M., Muchow, R.C. (1990): Relative sensitivity of grain yield and biomass accumulation to draught in field-grown maize. Crop Sci. 30, 690-693.
188. Singh, I.D., Stoskopf, N.C. (1971): Harvest index in cereals. Agron J. 63, 224-226.
189. Smith, D.H., Hamel, C. (eds.) (1999): Crop Yield – Physiology and Processes. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.
190. SPSS for Windows (2001): User’s guide. Realise 11.0. SPSS Inc. Chicago.
191. Stefanovits P. (1981): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
192. Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
193. Sváb J., Mándy Gy., Bócsa I. (1968): Növekedéselemzés módszere logisztikus függvénnyel, kenderen. Növénytermelés. 17, 285-292.
194. Szabó I. (1983): Pázsítfűfélék produkció vizsgálata. Kandidátusi értekezés. Keszthely.
195. Szabó I. (1998): Növényökológia. In: Mezőgazdasági növénytan. Szerk.: Turcsányi G. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, Budapest. 437-502.
196. Szabó J.L., O’sváth J. (1962): A kukorica néhány mennyiségi tulajdonságának változása gyomosodás hatására. In: MTA Mezőgazdasági Kutató Intézet évi jelentése. Martonvásár.
197. Szücs L. (1963): A maronvásári kísérleti telep talajviszonyai. Agrokémia és Talajtan. 12, 299-318.
198. Thiraporn, R., Geisler, G., Stamp, P. (1987): Effects of nitrogen fertilization on yield and yield components of tropical maize cultivars. J. Agronomy and Crop Sci. 159, 9-14.
199. Tollenaar, M., Aquilera, A. (1992): Radiation use efficiency of an old and a new maize hybrid. Agron. J. 84, 536-541.
200. Tóth Z., Kismányoky T. (2009): Vetésforgók, trágyázási rendszerek és a fenntartható növénytermesztés összefüggései. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés

fejlesztésében: A martonvásári tartamkísérletek 50 éve. Szerk.: Berzsenyi Z., Árendás T. Publ.: MTA MGKI, Martonvásár. 175-180.

201. Treitz M. (2004): Napraforgó hibridek rezisztencia-vizsgálata Diaporthe helianthi (Muntanola –Cvetkovic et al.) kórokozó gombával szemben. PhD értekezés, Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely. 228 p.
202. Varga P. (2002): Herbicid- és tápanyagstressz hatása a gyomnövények és a kukorica produktivitására. PhD értekezés, Veszprémi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar, Keszthely.
203. Várallyay Gy. Id. (1950): A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. Agrokémia. 2, 287-302.
204. Várallyay Gy. Id. (1954): Az egyszerű talajvizsgálatoktól az üzemi talajtérképezésig. Agrokémia és Talajtan. 3, 289-298.
205. Vernon, A.J., Allison, J.C.S. (1963): A method of calculating net assimilation rate. Nature. 200, 814.
206. Virágh K. (1980a): A növekedésanalízis mint ökológiai módszer. I. Elméleti alapok. Bot. Közlem. 1, 67-77.
207. Virágh K. (1980b): A növekedésanalízis mint ökológiai módszer. II. Alkalmazási területek. Bot. Közlem. 3, 207-218.
208. Voldeng, H.D., Blackman, G.E. (1975). Intractions betwen genotype and density on the yield components of Zea mays. II. Grain production. J. agric. Sci., Camb. 84, 61-74.
209. von Bertalanffy, L. (1941): Stoffwechseltypen und Wachstumstypen. Biologisches Zentralblatt. 61, 510-532.
210. von Bertalanffy, L. (1957): Quantitative laws for metabolism and growth. Q. Rev. of Biol. 32, 217-231.
211. Wann, M., Raper, C.D., Lucas, H.L. (1978): A dynamic model for plant growth: a simulation of dry matter accumulation for tobacco. Photosynthetica. 12, 121-136.
212. Watson, D.J. (1947a): Comparative physiological studies on the growth of field crops. I. Variation in net assimilation rate and leaf area between species and varieties and within and between years. Ann. Bot. N.S. 11, 41-76.
213. Watson, D.J. (1947b): Comparative physiological studies on the growth of field crops. II. The effect of varying nutrient supply on net assimilation rate and leaf area. Ann. Bot. N.S., 11, 375-407.
214. Watson, D.J. (1958): The dependence of net assimilation rate on leaf area index. Ann. Bot., N.S. 22, 37-54.

215. Watson, D.J., Hayashi, K. (1965): Photosyntetic and respiratory components of the net assimilation rates of sugar-beet and barley. New Phytol. 64, 38-47.
216. West, C., Briggs, G.E., Kidd, F. (1920): Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. New Phytol. 19, 200-207.
217. White, J. (1979): The plant as a metapopulation. Annu. Rev. Ecol. Syst. 10, 109-45.
218. Williams, R.F. (1946): The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. Ann. Bot. 10, 41-72.
219. Wolfe, D.W., Henderson, D.W., Hsiao, T.C., Alvino, A. (1988): Interactive water and nitrogen effects in senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. Agron. J. 80, 859-864.

M2. A vizsgált évek vegetációs időszakában (IV.-IX. hónap) hullott csapadékmennyiség és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007)

Hónap	Dekád	Csapadék (mm)									
		2005	2006	2007	Átlag $_{30\ év}$	Δ2005	Σ Δ2005	Δ2006	Σ Δ2006	Δ2007	Σ Δ2007
április	1.	14,0	2,4	0,0	12	2,0	2,0	-9,6	-9,6	-12,0	-12,0
	2.	50,4	10,0	0,0	13	37,4	39,4	-3,0	-12,6	-13,0	-25,0
	3.	32,4	6,6	0,6	18	14,4	53,8	-11,4	-24,0	-17,4	-42,4
	Σ	96,8	19,0	0,6	43,0	53,8	53,8	-24,0	-24,0	-42,4	-42,4
május	1.	8,8	16,6	0,6	18	-9,2	98,4	-1,4	-49,4	-17,4	-102,2
	2.	60,8	10,6	0,2	16	44,8	143,2	-5,4	-54,8	-15,8	-118,0
	3.	0,2	41,2	13,2	22	-21,8	121,4	19,2	-35,6	-8,8	-126,8
	Σ	69,8	68,4	14,0	56,0	13,8	374,4	12,4	-107,0	-42,0	-51,6
június	1.	48,4	30,2	37,6	26	22,4	157,6	4,2	-19,0	11,6	-157,2
	2.	0,6	3,6	2,4	22	-21,4	136,2	-18,4	-37,4	-19,6	-176,8
	3.	0,0	32,6	19,4	25	-25,0	111,2	7,6	-29,8	-5,6	-182,4
	Σ	49,0	66,4	59,4	73,0	-24,0	374,4	-6,6	-107,0	-13,6	-51,6
július	1.	28,0	10,0	13,2	18	10,0	97,2	-8,0	-44,4	-4,8	-200,8
	2.	38,8	0,0	0,6	16	22,8	120,0	-16,0	-60,4	-15,4	-216,2
	3.	9,2	0,0	11,2	19	-9,8	110,2	-19,0	-79,4	-7,8	-224,0
	Σ	76,0	10,0	25,0	53,0	23,0	374,4	-43,0	-107,0	-28,0	-51,6
augusztus	1.	111,1	0,4	10,2	18	93,1	226,3	-17,6	-140,0	-7,8	-259,8
	2.	17,5	2,8	75,4	15	2,5	228,8	-12,2	-152,2	60,4	-199,4
	3.	57,3	58,3	26,6	13	44,3	273,1	45,3	-106,9	13,6	-185,8
	Σ	185,9	61,5	112,2	46,0	139,9	374,4	15,5	-107,0	66,2	-51,6
szeptember	1.	0,0	0,0	27,4	10	-10,0	403,0	-10,0	-101,4	17,4	-102,2
	2.	34,8	21,2	14,8	14	20,8	423,8	7,2	-94,2	0,8	-101,4
	3.	13,8	0,0	11,6	17	-3,2	420,6	-17,0	-111,2	-5,4	-106,8
	Σ	48,6	21,2	53,8	41,0	7,6	374,4	-19,8	-107,0	12,8	-51,6
Összes, ill. átlag		526,1	246,5	265,0	312,0	-	-	-	-	-	-

M3. A vizsgált évek vegetációs időszakának (IV.-IX. hónap) havi átlaghőmérséklete és a sokéves átlag (Martonvásár, 2005-2007)

Hónap	Dekád	Átlaghőmérséklet (^oC)							Hőségnapok száma (t_{max}>30°C)		
		2005	2006	2007	Átlag $_{30\ év}$	Δ2005	Δ2006	Δ2007	2005	2006	2007
április	1.	9,6	9,7	10,7	10,4	-0,8	-0,7	0,3	0	0	0
	2.	12,1	12,3	13,2	10,8	1,3	1,5	2,4	0	0	0
	3.	10,6	15,9	13,9	12,6	-2,0	3,3	1,3	0	0	0
	Σ	10,8	12,6	12,6	11,3	-0,5	1,4	1,3	0	0	0
május	1.	13,9	13,0	14,4	14,8	-0,9	-1,8	-0,4	2	0	0
	2.	14,0	16,9	17,7	17,0	-3,0	-0,1	0,7	0	0	1
	3.	20,3	15,5	20,7	17,3	3,0	-1,8	3,4	4	0	6
	Σ	16,1	15,1	17,6	16,4	-0,3	-1,2	1,2	6	0	7
június	1.	15,1	13,4	20,5	19,1	-4,0	-5,7	1,4	1	0	4
	2.	19,8	21,1	23,2	19,5	0,3	1,6	3,7	0	5	9
	3.	20,5	24,4	21,3	20,6	-0,1	3,8	0,7	3	7	3
	Σ	18,5	19,6	21,7	19,7	-1,2	-0,1	1,9	4	12	16
július	1.	18,8	21,4	20,7	21,0	-2,2	0,4	-0,3	0	5	5
	2.	21,0	22,6	24,4	22,0	-1,0	0,6	2,4	3	7	7
	3.	22,4	24,9	22,9	21,5	0,9	3,4	1,4	6	11	8
	Σ	20,7	23,0	22,7	21,5	-0,8	1,5	1,2	9	23	20
augusztus	1.	18,2	18,5	21,0	21,6	-3,4	-3,1	-0,7	3	1	5
	2.	19,1	19,9	22,0	21,0	-1,9	-1,1	1,0	0	0	4
	3.	19,3	16,9	20,9	19,6	-0,3	-2,7	1,3	0	4	6
	Σ	18,9	18,4	21,3	20,7	-1,9	-2,3	0,5	3	5	15
szeptember	1.	18,7	18,4	13,6	18,8	-0,2	-0,4	-5,2	1	0	0
	2.	16,6	18,4	13,9	16,4	0,2	2,0	-2,5	0	0	0
	3.	14,3	18,6	12,8	14,6	-0,3	4,0	-1,8	0	0	0
	Σ	16,5	18,5	13,4	16,6	-0,1	1,9	-3,2	1	0	0
Összes, ill. átlag		16,9	17,9	18,2	17,7	-	-	-	23	40	58

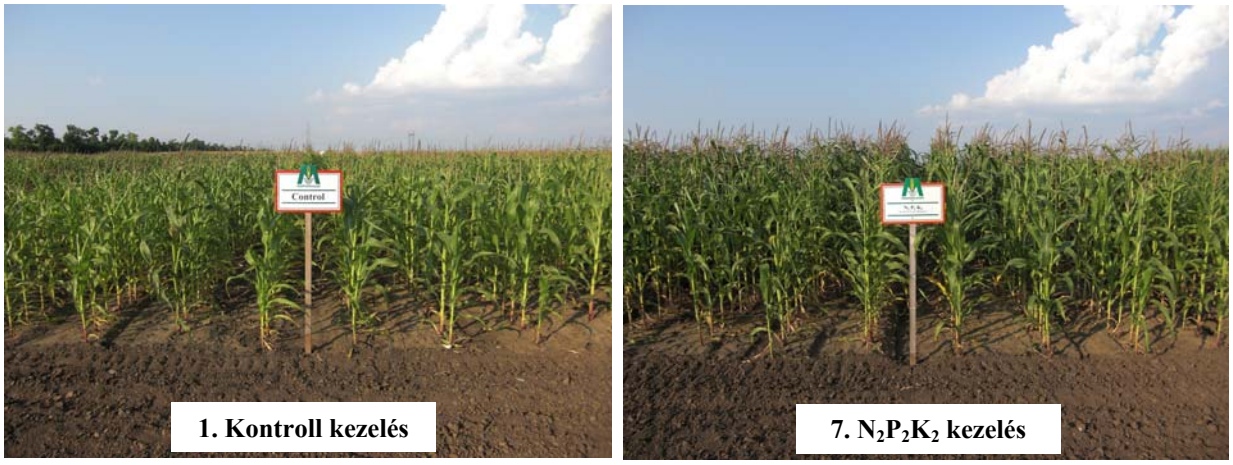
M4. A vizsgált kukorica hibrid leírása

A kísérletbe Norma SC kétvonalas, FAO 380-as tenyészidejű kiváló szárazságtűrésű, korai érésű, martonvásári lófogú szemeskukorica hibridet vetettünk el, amely martonvásári fajtaszortiment egyik legkeresettebb hibridje. Minden olyan igényt kielégít, amelyet egy korszerű hibriddel szemben támasztunk: kiemelkedő termőképesség, termésstabilitás, gyors vízleadó-képesség, kiváló alkalmazkodóképesség. Kimagasló a szárazságtűrése, a technológiai stresszel szembeni toleranciája. Termésingadozása az évjárat hatására kisebb, mint az általunk vizsgált más martonvásári hibrideké. Kétcsövűségre hajlamos, ritka növényállományban jellemzően két csövet terem. Harvest indexe közelít az 50 %-hoz, az összes szárazanyag hozamán belül meghatározó a szemek aránya. A tőszámkísérletek sűrű állományában sem hajlamos a meddőségre. A tőszám optimuma rendkívül széles: 60-80 ezer tő ha^{-1} (*1. A, B és 2. A, B képek*).

A B

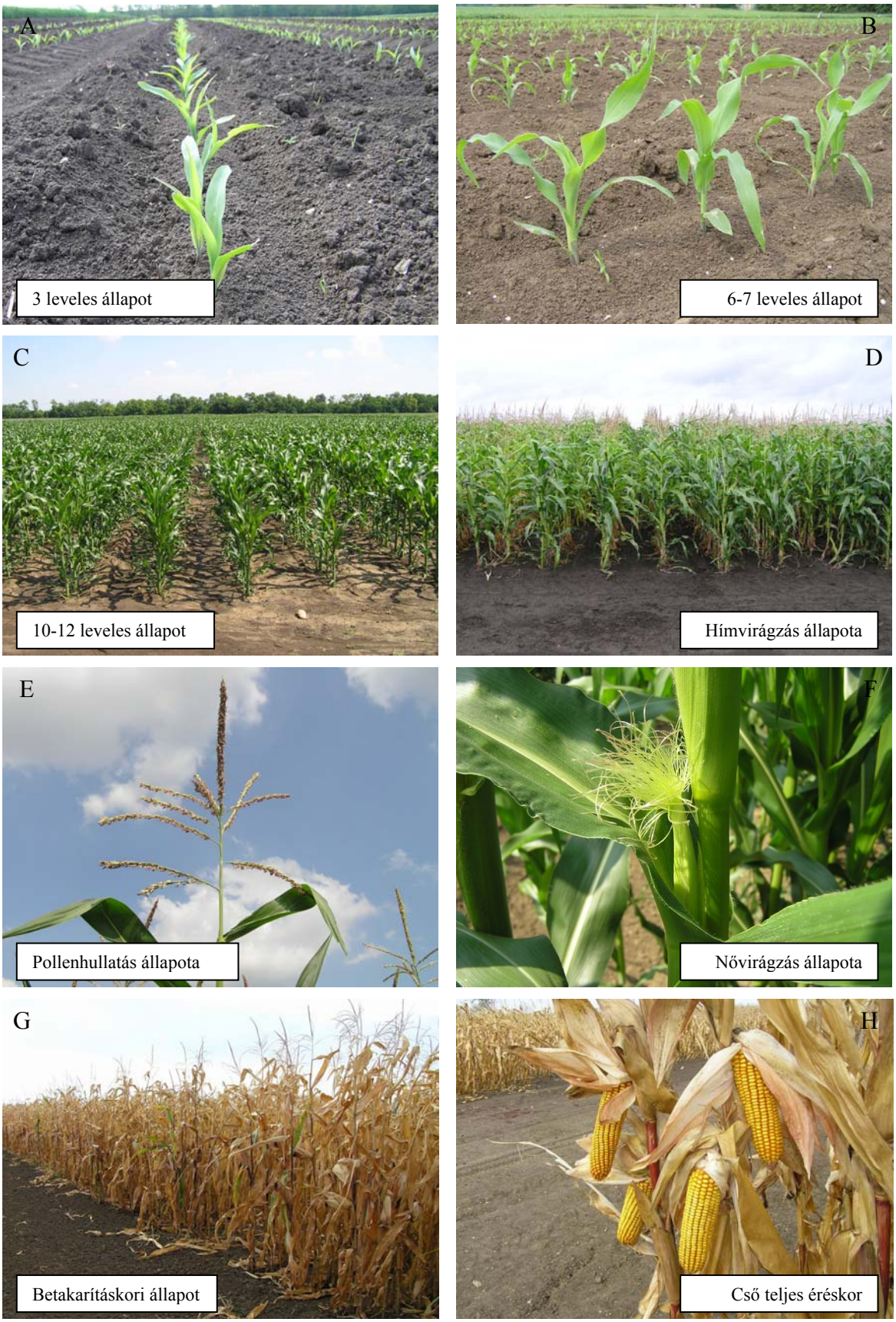
1. kép. A: a martonvásári tartamkísérlet képe, *B*: a Norma hibrid csöve (2006.08.02.)

A B



2. kép. A Norma hibrid a tartamkísérlet *A*: 1. és *B*: 7. kezelésében (Martonvásár, 2006.06.25.)

M5. Képek

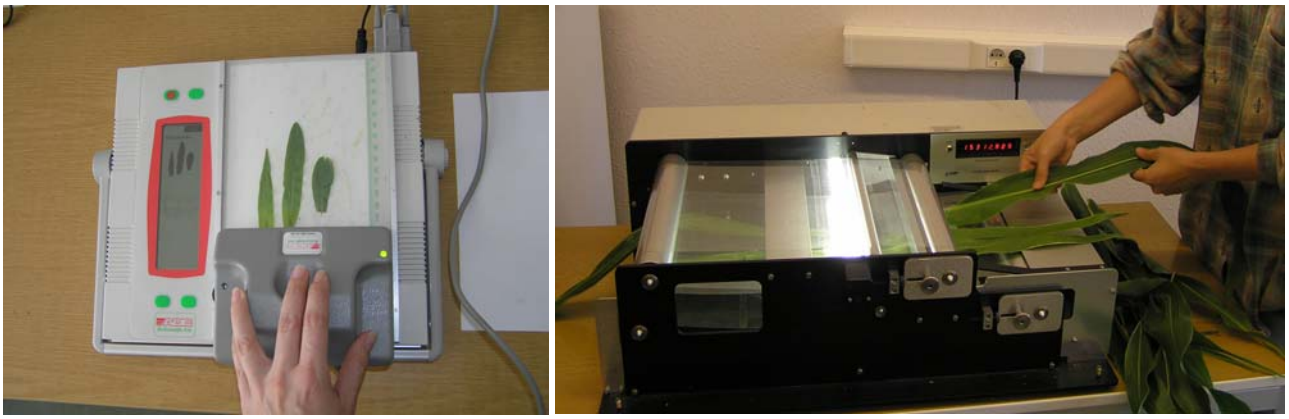


3. kép. A-F: A Norma kukorica hibrid a különböző fenológiai stádiumokban a szerves- és műtrágyázási tartamkísérletben (Martonvásár, 2005)

4. kép. A kukorica részekre bontása a növekedésanalízis vizsgálatokhoz

5. kép. MEMMERT ULE/800-as típusú szárítószekrények

A B



6. kép. A: ADC AM300, illetve *B:* LI-COR LI-3100A típusú asztali levélterület-mérő műszerek

7. kép. Minolta SPAD 502 hordozható klorofill-mérő

8. kép. FIASTAR 5000 analizáló rendszer

9. kép. FOSS Digestor 2020 roncsoló blokk

A B

10. kép. A: Retsch Mill ZM 200-as és *B:* Perten 3100-as laboratóriumi malom

A B

11. kép. A: Perten INFRAMATIC 8600 szem beltartalom analizáló műszer és
B: Pfeuffer Contador magszámláló berendezés

M6. Korszerű klasszikus növekedésanalízis program – példa (Hunt et al. 2002)

2005. 7. trágyakezelés 1.-2. mintavétel

Tool for classical plant growth analysis v.1.1 | *Help and FAQs*

Dataset: *Kukorica II. tartamkísérlet 2005. 7. Kezelés* | **Date:** *8. Augusztus*

Input

day	g		cm²
Time	**Weights**		**Leaf Area**
	Root	**Non-leaf**	**Leaf**
37	0	2,46	4,24	997
37	0	1,26	2,5	633
37	0	1,74	3,13	733
37	0	2,25	3,98	950
45	0	5,04	7,75	1748,9
45	0	3,45	5,71	1389,3
45	0	4,13	6,66	1537,6
45	0	3,6	6,34	1613,4

Output

day	g	m²

t_1 : day 37 t_2 : day 45

Mean Relative Growth Rate
/ day

Rbar	SE	95% CL
0,087491	0,037282	0,091229

Mean Unit Leaf Rate
g / m² / day

Ebar	SE	95% CL
5,941103	2,416495	5,913164

Mean Leaf Area Ratio
m² / g

Fbar	SE	95% CL
0,015307	0,002282	0,005584

Mean Leaf Weight Fraction
g / g (dimensionless)

Pbar	SE	95% CL
0,639532	0,094052	0,230146

Mean Specific Leaf Area
m² / g

Qbar	SE	95% CL
0,02414	0,003258	0,007971

Root-Shoot Allometry

Coeffic.	SE	95% CL
#SZÁM!	#SZÁM!	#SZÁM!

Check on assumptions

Indirect Rbar:	0,091722
Indirect % of direct:	104,8

M7. Funkcionális növekedésanalízis program – példa (HP-modell, Hunt és Parsons 1974)

2005. 7. trágyakezelés 1.-10. mintavétel

```
* H P c u r v e s
  Plant growth analysis by Hunt & Parsons (1974)
  1994 edition in Salford Fortran77/486 for PC users

* DATA FILE is:          II. Trágya 2005. 7. kezelés
  KEY values are:        1  1  1
  INDEX values are:      1  4  3

* 7/01* Data set no.  7

* 7/02* This DATA SET is:
  TOTAL data sets:       7
  PLANTS in this set:    40

  (All confidence limits calculated at P<0.05)

* 7/03* FINAL ANALYSIS OF VARIANCE TABLE

  SOURCE                 DF      SS-lnY      DF      SS-lnZ
    Linear                1     58.34550     1     0.42547
    Quadratic             1     13.60663     1    12.84797
    Cubic                 1      1.36775
    Residual error       30      0.44367    30     0.66068
    Residual lack of fit  6      0.63208     7     0.74717
  TOTAL                  39     74.39563    39    14.68129

* 7/04* ESTIMATING EQUATIONS

  ln(Y) =  -4.696249   +0.229987T   -0.001751TT   +0.000005TTT
     SEs    0.464076     0.017405     0.000195      0.000001

  ln(Z) =  +4.330419   +0.085056T   -0.000429TT
     SEs    0.196760     0.004554     0.000023

* 7/05* OBSERVED AND FITTED VALUES OF Y AND Z

  Time      O-Y       F-Y        O-Z        F-Z
  37.0      6.70    5.1799     997.00    983.1664
  37.0      3.76               633.93
  37.0      4.87               733.43
  37.0      6.23               950.50
  45.0     12.79   12.4132    1748.87   1465.6939
  45.0      9.15              1389.33
  45.0     10.79              1537.63
  45.0      9.94              1613.43
  60.0     63.30   43.5805    3887.00   2672.9161
  60.0     56.01              3556.00
  60.0     58.49              3737.33
  60.0     59.08              3629.33
  76.0    110.31  104.7044    4201.67   4102.0885
  76.0     87.79              3410.00
  76.0     93.19              3883.33
  76.0    100.62              4115.67
  87.0    137.16  153.3673    4099.33   4848.5755
```

87.0	131.49		4348.67	
87.0	150.31		4606.00	
87.0	146.67		4694.67	
101.0	193.88	205.0191	4638.67	5162.7574
101.0	161.68		4156.67	
101.0	217.72		4765.33	
101.0	172.61		4386.67	
118.0	248.15	240.1209	4611.67	4445.3294
118.0	240.96		4673.33	
118.0	261.08		4098.67	
118.0	214.30		4042.00	
129.0	265.22	251.6913	3649.00	3536.1666
129.0	253.36		3721.67	
129.0	298.87		3907.00	
129.0	300.32		4249.67	
145.0	292.50	271.8061	2597.00	2106.6207
145.0	251.46		1701.33	
145.0	288.62		1973.33	
145.0	316.26		2557.67	
157.0	274.45	307.5087	838.67	1236.9104
157.0	287.36		1255.33	
157.0	287.90		1770.67	
157.0	306.74		1161.67	

* 7/08* ABSOLUTE AND RELATIVE GROWTH-RATES FOR Y

Time	AGR-Y	RGR-Y	SE	LCL	UCL
37.0	0.616	0.1190	0.0059	0.1070	0.1310
45.0	1.239	0.0998	0.0042	0.0913	0.1083
60.0	2.991	0.0686	0.0019	0.0648	0.0724
76.0	4.407	0.0421	0.0014	0.0392	0.0450
87.0	4.273	0.0279	0.0018	0.0242	0.0315
101.0	2.971	0.0145	0.0019	0.0107	0.0183
118.0	1.298	0.0054	0.0014	0.0025	0.0083
129.0	0.931	0.0037	0.0016	0.0005	0.0068
145.0	1.922	0.0071	0.0036	-0.0002	0.0143
157.0	4.351	0.0142	0.0061	0.0018	0.0265

* 7/09* ABSOLUTE AND RELATIVE GROWTH-RATES FOR Z

Time	AGR-Z	RGR-Z	SE	LCL	UCL
37.0	52.44	0.0533	0.0029	0.0475	0.0592
45.0	68.13	0.0465	0.0025	0.0414	0.0516
60.0	89.88	0.0336	0.0019	0.0299	0.0374
76.0	81.69	0.0199	0.0012	0.0174	0.0224
87.0	50.84	0.0105	0.0009	0.0087	0.0123
101.0	-7.82	-0.0015	0.0008	-0.0032	0.0001
118.0	-71.51	-0.0161	0.0013	-0.0187	-0.0135
129.0	-90.23	-0.0255	0.0017	-0.0290	-0.0220
145.0	-82.64	-0.0392	0.0024	-0.0441	-0.0343
157.0	-61.25	-0.0495	0.0029	-0.0555	-0.0435

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm a Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézet igazgatójának Bedő Zoltánnak, hogy PhD tanulmányaimat és munkámat támogatta.

Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Berzsenyi Zoltánnak, aki mindvégig figyelemmel kísérte és segítette a munkámat a mérésektől kezdve az értekezés elkészítéséig, valamint pályázatokkal (OTKA, GAK) biztosította a vizsgálatok anyagi hátterét, és Jolánkai Mártonnak, az egyetemi tanulmányaim óta nyújtott szakmai és emberi támogatásért.

Köszönöm opponenseimnek, Alföldi Zoltánnak és Hoffmann Sándornak, minden részletre kiterjedő alaposságukat, valamint hasznos és előremutató kritikai megjegyzéseiket.

Köszönöm Árendás Tamás és Bónis Péter támogatását és mindenkori segítőkészségét.

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Növénytermesztési Osztály valamennyi volt és jelenlegi munkatársának, akik munkája nélkül ez a dolgozat nem készülhetett volna el.

Köszönöm Harasztos Barbara, Kizmus Lajos, Kuti Csaba, Pók István és Stéhli László gyakorlati és elméleti kérdésekben nyújtott magas szintű segítségét.
Külön köszönet jár Takács Nórának és Jócsák Ildikónak.

Végül, de nem utolsó sorban hálásan köszönöm Családomnak, hogy doktori munkámban végig támogattak és biztattak.