

SZENT ISTVÁN EGYETEM

**SZERVES- ÉS MŰTRÁGYA HATÁSÁNAK
ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA A
KUKORICA PRODUKCIÓJÁRA
TARTAMKÍSÉRLETBEN**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Micskei Györgyi

Gödöllő

2012

A doktori iskola

Megnevezése: Növénytudományi Doktori Iskola

Tudományága: Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok

Vezetője: **Dr. Heszky László**
tanszékvezető, egyetemi tanár, az MTA rendes tagja
SZIE Mezőgazdasági - és Környezettudományi Kar
Genetika és Biotechnológiai Intézet, Gödöllő

Témavezetők: **Dr. Berzsényi Zoltán**
tudományos tanácsadó, az MTA doktora
MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet, Martonvásár

Dr. Jolánkai Márton
intézetigazgató, egyetemi tanár, az MTA doktora
SZIE Mezőgazdasági - és Környezettudományi Kar
Növénytermesztési Intézet, Gödöllő

.....
Dr. Berzsényi Zoltán
témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Jolánkai Márton
témavezető jóváhagyása

.....
Dr. Heszky László
iskolavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI ÉS A KITŰZÖTT CÉLOK

A modern növénytermesztésben a növekedési ráta és a növényi produkció, a termés maximalizálása volt az elérendő cél, azonban napjainkban, 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 időbeni, ún. tartamhatásának tanulmányozásában (Berzsenyi 2009). Egyre inkább elfogadottá válik az a nézet, hogy még a 10-15 éves vizsgálatok sem elégségesek a változások megbízható kimutatásához (Johnston 1988). Gyórfy Béla az 1950-es évek végén és az 1960-as évek elején állította be kísérleteit Martonvásáron, amelyek az országban a legrégebbi tartamkísérletek közé tartoznak, és teljes mértékben megfelelnek a módszertani követelményeknek (Árendás 1998). Rothamsted-ben, 1843-ban megkezdett tartamkísérletekben folyamatosan vizsgálják a szerves és műtrágyák hatásait a talaj termékenységre (Leigh és Johnston 1994). Bár a műtrágyázott parcellák talajának szervesanyag-tartalma csaknem fele volt az istállótrágyázott parcellákénak, a termésátlagok alapján mégis a műtrágyázott kezelések bizonyultak jobbnak (Jenkinson 1991).

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, a növény növekedésének teljes időszakában (Berzsenyi 2000). A 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, ami a kutatások korszerű termesztéshatásfiziológiai irányzatát képviseli (Gardner et al. 1985).

A növekedésanalízis módszertana az 1920-as évek elején alakult ki, és az 1960-as évek végén a statisztikai tudományok fejlődése, valamint a számítógépek elterjedése révén, mind a módszerekben, mind a növényvizsgálat minőségében erőteljes fejlődésnek indult. A növekedésanalízis bevezetése a hazai kutatásokba és ökológiai, növénytermesztési alkalmazása Précsényi munkásságához kapcsolódik (Précsényi 1980). Martonvásáron 1956 óta folynak részletes kísérleti vizsgálatok a kukorica szárazanyag-felhalmozódásáról (Ferencz 1958, Bajai 1959, Gyórfy 1965).

Munkánk célja volt, hogy a hatóanyag-azonosság elvén 1958-ban beállított kukorica monokultúra trágyázási tartamkísérletben összehasonlítsuk az istálló-, ill. a műtrágyázás különböző szintjeinek hatását:

1. a kukoricanövény növekedésére és növekedési mutatóinak dinamikájára, a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszerét alkalmazva;
2. a növényegyed és a növényállomány növekedési mutatóinak átlagos és maximális értékeire;
3. - a kukoricanövény produkciójára,
 - a terméseredmény és a terméskomponensek alakulására,
 - a kukorica levél nitrogén- és klorofill-tartalmára, valamint
 - a kukoricaszem beltartalmára, eltérő évjáratokban.

A kísérletben eredetileg felvetett kérdés az volt, hogy ha az istállótrágya NPK-hatóanyagát fele részben vagy egészben szerves NPK műtrágyával pótoljuk, helyettesíthető-e az istállótrágya műtrágyával? A tartamkísérlet eredményeiről korábban Gyórfy (1979), illetve Berzsényi és Gyórfy (1994) és Berzsényi et al. (2011) közölt adatokat. A dolgozat, ezen munkák továbbfolytatását jelenti, felhasználva a korábbi növekedésanalízis kutatások eredményeit.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A martonvásári trágyázási tartamkísérlet jellemzése

A szabadföldi kisparcellás monokultúra tartamkísérletet 1958-ban állította be Györffy Béla Martonvásáron, az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézet agrotechnikai kísérleti területén. A kísérlet 7 kezelést tartalmaz, a hatóanyag-azonosság elvén beállítva (1. táblázat), 7 ismétlésben, azaz latin-négyzet elrendezésben, ahol a parcellák mérete: $8 \times 10 \text{ m} = 80 \text{ m}^2$. Az istállótrágya és a műtrágya kezelések hatását a kukorica szárazanyag-termelésére és növekedési jellemzőire a 2005-2007. években vizsgáltuk.

1. táblázat. A trágyázási kísérlet kezelése és a kijuttatott hatóanyag mennyiségek. Martonvásár, 2005-2007

Kezelés	Trágyakezelések	Kijuttatott hatóanyag (kg ha ⁻¹ év ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
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 ₁ P ₁ K ₁ műtrágya	66	38	75
5.	70 t ha ⁻¹ istállótrágya	132	76	150
6.	35 t ha ⁻¹ istállótrágya + N ₁ P ₁ K ₁ műtrágya	132	76	150
7.	N ₂ P ₂ K ₂ műtrágya	132	76	150

2.2. A vizsgált évek klimatikus adatai

A vizsgált három év csapadék és hőmérsékleti adatai rendkívül nagy eltéréseket mutatnak egymáshoz és a 30 éves átlaghoz képest is. A 2005-ös év kedvező, csapadékos év volt, a száraz 2006-os év a csapadék-eloszlásnak köszönhetően átlagos évnél tekinthető, míg a 2007-es év nyara igen forró, aszályos volt. A vegetációs időszakban (IV. - IX. hónap) lehullott csapadék mennyisége 2005-ben 526 mm, 2006-ban 246 mm, 2007-ben 265 mm, az évi középhőmérséklet pedig, 9,8 °C, 11,0 °C és 12,8 °C volt.

2.3. A kísérleti kutatómunka ismertetése

A vizsgálatokat a **növekedésanalízis** direkt (destruktív) és indirekt módszereivel végeztük. A mintavételt a kukoricanövények 3-4 leveles fejlettségi állapotában kezdtük meg, a vetéstől számított 22-37. napon (évjárattól függően), és a címer és nővirágzáson át, a fiziológiai érésig folytattuk. 2005 és 2006-ban 10 mintavétel történt, 2007-ban 9 alkalommal, átlagosan 14 napos intervallumokban, mind a hét kezelésből, négy ismétlésben.

A növényeket egyedenként analizáltuk, és a következő részekre osztottunk fel: zöld levéllemez, szár a levélhüvellyel, címer, csuhélevelek, csőszár, csutka és szemtermés. A növények fotoszintetizáló **levélterületét** ADC AM300, illetve LI-COR LI-3100A típusú asztali levélterület-mérővel mértük. A szeparált növényi részeket 48-72 órán át, 105 °C-on szárítottuk **száraztömegük** meghatározása céljából, MEMMERT ULE/800-as típusú szárítószekrényekben.

Indirekt módszerekkel, a virágzás utáni stádiumban, növényállományban mértük a kukorica növények **összes levélterületét és a cső melletti levél területét** LI-COR LI-3000A típusú hordozható levélterület-mérővel. A cső melletti levél **klorofill-tartalmát** Minolta SPAD 502 típusú hordozható klorofill-mérővel határoztuk meg, parcellánként tíz, cső melletti levélen, a levelek alapi részénél.

A növény teljes levélzetének **összes-N-tartalom** meghatározását Kjeldahl-módszerrel végeztük, FIASTAR 5000 típusú spektrofotométerrel, a szemtelítődés időszakában.

A szem **nyersfehérje-, olaj- és keményítő tartalmát** Perten INFRAMATIC 8600 (NIR) analízáló készülékkel mértük. A betakarítás Bourgoin parcellabetakarító géppel történt, a betakarított **szemtermés** mennyiségét 15 %-os nedvességtartalomra számítva adtuk meg. Parcellánként öt mintacső adatai alapján értékeltük a **terméskomponensek** (csőenkénti szemszám, ezerszemtömeg) trágyakezelésektől függő változását.

2.4. A növekedési mutatók leírása és kiszámításuk módszerei

A teljes növekedésanalízis magába foglalta mind a növényegyedek, mind pedig a növényállományok vizsgálatát. Valamennyi növekedési mutatónak meghatároztuk az átlagos, maximális és pillanatnyi értékeiket, valamint jellemeztük a szezondinamikájukat. A növényegyedek növekedésének mutatói: (1) az abszolút növekedési sebességek (AGR, ALGR), (2) a relatív növekedési sebességek (RGR, RLGR), (3) a nettó asszimilációs ráta (NAR), (4) a levélterület arány (LAR), (5) a specifikus levélterület (SLA), (6) és a levéltömeg arány (LWR). A növényállomány növekedésanalízisének mutatóihoz tartozik: (7) a levélterület index (LAI), (8) a termésnövekedési sebesség (CGR), (9) a nettó asszimilációs ráta (NAR), (10) a levélterület-tartósság (LAD), (11) a biomassa-tartósság (BMD), (12) és a harvest index (HI).

A növekedési mutatókat értékeltünk a növekedésanalízis klasszikus és funkcionális módszere szerint is. A növekedésanalízis **klasszikus módszerének** alkalmazásakor a növekedési mutatók átlagértékeit a mintavételenként meghatározott száraztömeg és levélterület adatokból, két egymást követő mintavétel közötti intervallumra, munkaképletek segítségével számítottuk ki (Précsényi et al. 1976, Evans 1972). A növekedési mutatók átlagos értékeinek és statisztikai jellemzőinek kiszámítására, Hunt et al. (2002) által kidolgozott, korszerű klasszikus növekedésanalízis programot használtuk. A növekedésanalízis **funkcionális módszerében** Hunt-Parsons (1974) növekedésanalízis programját (HP modell) alkalmaztuk, amely lehetővé tette a növekedési mutatók pillanatnyi értékeinek a kiszámítását. 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 2000).

2.5. A kísérleti adatok biometriai értékelésének módszerei

A latin-négyzet elrendezésben beállított kísérlet adatainak **varianciaanalízisét** és a kísérleti adatsorok biometriai értékelését, Sváb (1981) módszere alapján végeztük, Microsoft® Windows Excel (2003) és MSTAT-C (1991) programokkal.

A kukorica szemtermése, illetve a szemtermést meghatározó terméskomponensek, valamint növekedési mutatók közötti összefüggéseket a GenStat 13.1 (2002) statisztikai programcsomag szerint, **korrelációvizsgálattal** határoztuk meg.

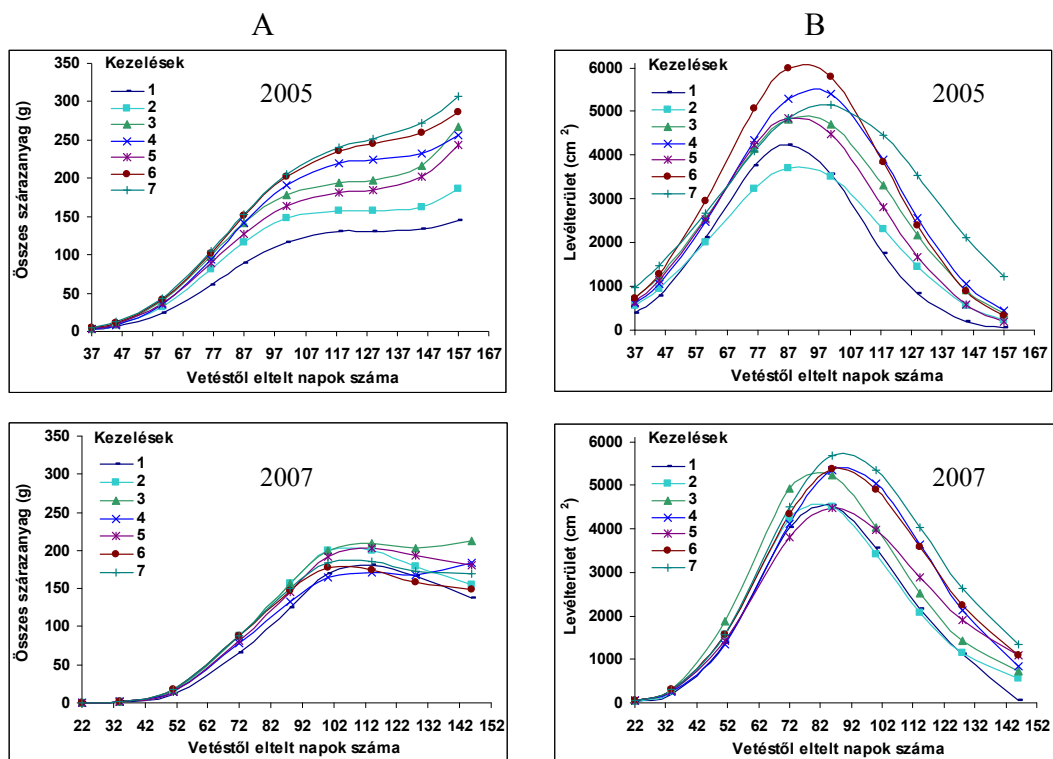
A szemtermés és a két terméskomponens közötti összefüggést **többszörös regresszióanalízissel**, az SPSS 11.0 for Windows (2001) statisztikai program „Enter” eliminációs módszerével értékeltük.

A kísérleti kezelések termésre gyakorolt tartamhatását 1958-2009 között, a tartamkísérletekre kidolgozott **kumulatív módszerrel** (Sváb 1981), varianciaanalízissel és a **stabilitásanalízis** többváltozós (AMMI) módszerével (Crossa 1990) végeztük.

3. EREDMÉNYEK

3.1. A trágyázási kezelések és az évjárat hatása a kukorica szárazanyag felhalmozódásának és levélfelületének szezonális dinamikájára

A Hunt-Parsons program alkalmazásával kapott összes szárazanyag szezonális dinamikájában, csapadékos évjáratban (2005) a hét trágyakezelés hatása jól elkülöníthető volt, míg aszályos évben (2007) a különböző kezelésekben kapott szárazanyag termelés értékei jóval szűkebb határok között változtak (1.A ábra).



1. ábra: A trágyázási kezelések és az évjárat hatása (2005 és 2007) a kukoricanövény A: összes szárazanyag felhalmozódásának és B: levélfelületének szezonális dinamikájára, a növekedésanalízis funkcionális módszerével. A kezelések leírását lásd az 1. táblázatnál

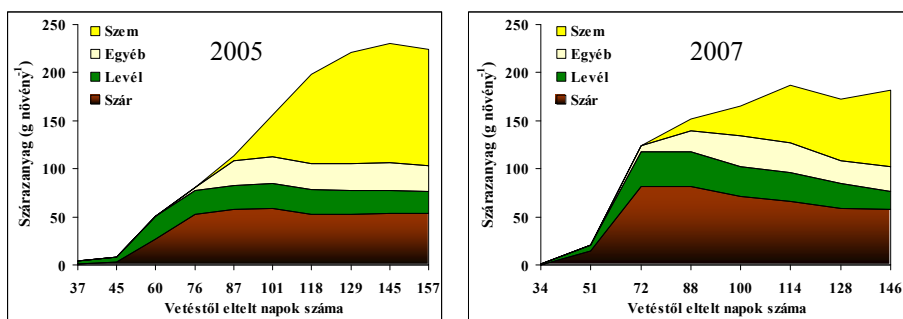
A HP-program harmadfokú exponenciális függvénnyel jellemezte az összes szárazanyag-beépülés dinamikáját, ami 2005-ben nem mutatott maximum

pontot, a növekedés minden kezelésben tovább folytatódott. A statisztikai értékelés során, a klasszikus módszerrel kapott értékek alapján csak kedvező években kaptunk szignifikáns különbséget a trágyázási kezelések között, míg az illesztett értékek esetében mindhárom évben.

A Hunt-Parsons program másod- és harmadfokú exponenciális függvényt illesztett a levélterület növekedési és csökkenési dinamikájához (1.B ábra). A levélterület maximális értékei csapadékos évben öt-hat hétig, tartósan megmaradtak, míg aszályos évben a légköri aszály következtében gyorsan száradásnak indult levélzet jelentős hatással volt a termésképződésre is. A kukorica maximális levélterület értékét jelentős mértékben befolyásolta az évjárathatás, s az évek között szignifikáns különbség volt.

3.2. Az évjárat hatása a szárazanyag-produkció növényi részek szerinti megoszlására

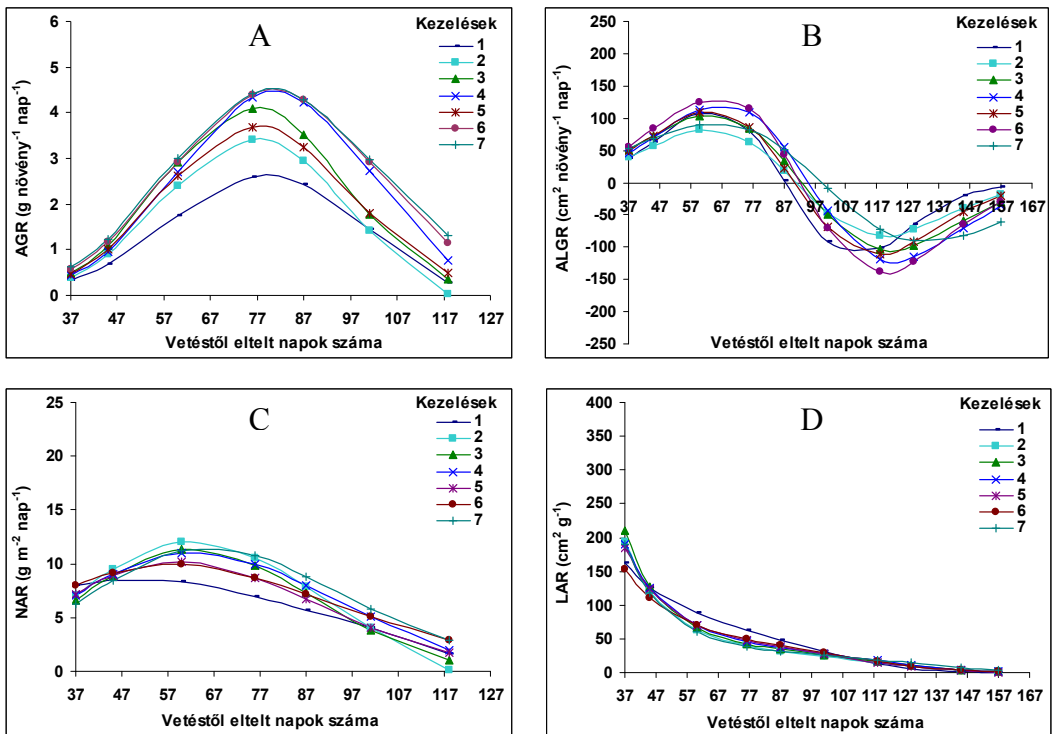
Kedvező évjáratokban a betakarítás körüli időszakban a növényenkénti száraz szem tömege több mint duplája volt a száraz szár tömegének, míg aszályos évjáratban a szem tömege alig haladta meg a szár tömegét. Csapadékos évjáratban a szem aránya, vagyis a HI, 50 % körüli volt, aszályos évben csupán 43 %. A szem aránya tehát jelentősen csökkent, míg a szár és az egyéb növényi részek (csőszár, csuta, csuhé, címer) aránya nőtt (2. ábra).



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

3.3. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényegyek növekedését jellemző mutatók alakulására

A Hunt-Parsons modell alapján az összes szárazanyag abszolút növekedési sebességének dinamikája harang alakú görbével jellemző, vagyis a növekedés sebessége fokozatosan nő a maximumig (a levélfejlődés időszakában), majd ezt követően csökken. (3.A ábra). A funkcionális módszerrel jól felismerhető növekedési dinamikákat lehetett kapni, ami kiszűrte a klasszikus módszernél fennálló ingadozásokat. Az $AGR_{\text{átl}}$ kedvező évjáratokban jól jellemezte a különböző trágyahatásokat, amelyek szignifikánsan különböztek, míg aszályos évben nem figyelhettünk meg trágyahatást.



3. ábra: A trágyázási kezelések hatása a kukoricánövény A: összes szárazanyagának és B: levélterületének abszolút növekedési sebességének (AGR és $ALGR$), valamint C: nettó asszimilációs rátájának (NAR) és D: levélterület arányának (LAR) dinamikájára 2005-ben, a növekedésanalízis funkcionális módszerével. A kezelések leírását lásd az 1. táblázatnál

A levélterület abszolút növekedési sebességének dinamikáját két harang alakú görbe írja le, az 1. a levélterület növekedését mutatja, a 2. a levélterület leszáradását (3.B ábra). 2005-ban a levélzet leszáradása lassabb, egyenletesebb folyamat volt, amely elősegítette a szemtelítődést. Az $ALGR_{\text{átl}}$ értékeire minden évben szignifikáns hatással voltak a trágyázási kezelések.

A nettó asszimilációs ráta értékei közel állandóak, csak egy rövid időszakra éri el a maximum értékeket évjáráttól függetlenül, a növények 8-10 leveles stádiumában (3.C ábra). A $NAR_{\text{átl}}$ és NAR_{max} értékekre a trágyázási kezeléseknek nem volt szignifikáns hatása a mért értékek alapján, míg a funkcionális módszerrel a NAR dinamikáját pontosabban tudtuk jellemezni és szignifikánsan elkülönülő kezeléshatásokat lehetett kimutatni.

A HP-modell alapján a levélterület arány dinamikája minden évben és kezelésben hasonló lefutást mutatott a klasszikus módszerrel kapott dinamikával (3.D ábra). A kiindulási maximális érték után folyamatos csökkenés figyelhető meg egészen a vegetációs periódus végéig. A mért értékek alapján az évjáratok és a különböző trágyakezelések is szignifikánsan befolyásolták a $LAR_{\text{átl}}$ értékét.

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

Kedvező, csapadékos évben a trágyázási kezelések maximális levélterület index értékei szignifikánsan eltérőek voltak, a 6. és a 7. kezelésben voltak a legmagasabbak, a kontroll és a 2. kezelés adta a legkisebb értékeket, és a 3., 4., 5. kezelések a köztes értéket (2. táblázat). Aszályos évben csak a kontroll kezelésben kaptuk igazolhatóan kisebb LAI_{max} értéket, a többi kezelés értékei azonban, szignifikánsan nem különböztek, kezeléshatás nem mutatkozott.

A trágyázás magasabb szintje növelte a termésnövekedés sebesség maximális értékét, ami aszályos évben, minden trágyakezelésben csaknem a

duplája volt a kedvező évjáratban kapott CGR_{max} értékeknek, azaz kb. a m^2 -enkénti 20 g nap^{-1} -ről 40 g nap^{-1} -ra nőtt. A CGR_{max} értékek között évjáratától függetlenül szignifikáns különbséget kaptunk a trágyázási kezelések hatására.

2. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica növényállomány növekedését jellemző mutatók alakulására, 2005-ben

Kezelések	LAI_{max}	CGR_{max}	LAD	BMD	HI
	($m^2\ m^{-2}$)	($g\ m^{-2}\ nap^{-1}$)	($cm^2\ nap^{-1}$)	($kg\ növény^{-1}$)	(%)
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
$SzD_{kezelés}$	***	***	***	***	***

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 az 1. táblázatnál

A levélterület tartósság és a biomassza tartósság értékei hasonlóan alakultak, minden évben a kontroll kezelésben volt a legalacsonyabb, s a nagyarányú műtrágya kezelésben (7. kezelés) a legmagasabb az értékük. A kapott LAD, BMD és harvest index értékek egyaránt jól jellemezték a trágyázás hatását és az évjárathatást. A kezelések átlagában a csapadékos évben adták szignifikánsan a legmagasabb, és az aszályos évben a legalacsonyabb értékeket.

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

Kedvező évjáratban a trágyázási kezeléseknél szignifikáns hatása volt a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, és beltartalmi értékeire is (3. táblázat). 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 trágyadózisú

kezelések (6. és 7. kezelések) terméseredménye nem különbözött szignifikánsan a kontroll kezelésben kapott terméstől. Szignifikánsan a legmagasabb termést ebben az évben az 5. kezelésben, azaz a 70 t ha⁻¹ istállótrágya alkalmazásakor kaptuk, ami az istállótrágya pozitív hatásával magyarázható száraz évjáratban.

Az optimális N-ellátás és az évjáratolás jelentősen hozzájárult az terméskomponensek értékeinek alakulásához is. Csapadékos évben a kontroll kezelésben kapott csövenkénti szemszám 30 %-kal volt kevesebb, mint az N₂P₂K₂ műtrágya kezelésben kapott maximális csövenkénti szemszám, míg aszályos évben csupán 5,6 %-kal. Aszályos évben 33 %-kal csökkent az ezerszemtömeg, a csapadékos évjáratban mérthez képest.

A trágyázási kezeléseknél szignifikáns hatása volt a szemtermés nyersfehérje tartalmára, s kedvező évjáratokban különbség volt az alacsonyabb és a magasabb trágyázási szint között. A legmagasabb szem nyersfehérje tartalmat évjáratától függetlenül a magas szintű NPK műtrágyázás (7. kezelés: 8,96 - 9,39 %) hatására mértük.

3. táblázat. A szerves- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére, terméskomponenseire, valamint a szem beltartalmára 2005-ben

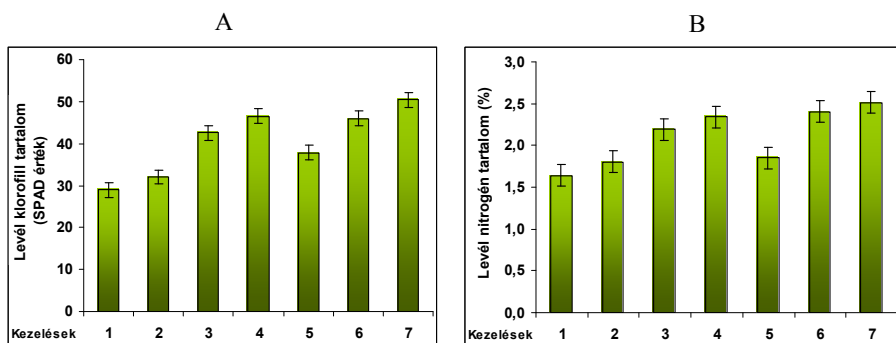
Kezelések	Termés (t ha ⁻¹)	Szemszám/ cső (db)	Ezerszem- tömeg (g)	Szem nyersfehérje tartalom (%)	Szem olaj- tartalom (%)	Szem keményítő tartalom (%)
1	4,26 e †	272,67 e	262,02 d	6,28 de	3,55 a	70,16 b
2	5,96 d	325,19 d	267,52 d	6,00 e	3,53 a	71,75 a
3	7,67 b	413,57 bc	333,23 b	6,85 bc	3,46 ab	70,58 ab
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}	***	***	***	***	**	***

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 az 1. táblázatnál

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

Szoros összefüggést állapíthattunk meg a növényállományban végzett klorofill mérés SPAD-értékei, és a laboratóriumban meghatározott összes-nitrogén-tartalom mérés eredménye között a különböző trágyázási kezelések hatására, a kísérleti évek átlagában kapott eredmények alapján (4. ábra). A kukoricánövény levelének klorofill-, és nitrogén-tartalmát, minden évben szignifikánsan befolyásolták a trágyázási kezelések.



4. ábra. A: a kukorica levél klorofill tartalma, és 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 az 1. táblázatnál

3.7. A termés, a terméskomponensek, és a növekedési mutatók összefüggésvizsgálata

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. 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. Mindkét mátrix eredménye szerint igen szoros, illetve szoros pozitív kapcsolat állapítható meg a CGR, valamint a LAI, és a NAR között ($P = 0,1, 1$, illetve 5 %-os szinten).

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 ($\beta = 0,721$) mintegy 3,75-szerese volt a csövenkénti szemszám hatásához képest ($\beta = 0,192$).

3.8. Új tudományos eredmények:

1. A martonvásári 51 éves trágyázási tartamkísérletben a Hunt-Parsons (HP) növekedésanalízis modell harmadfokú exponenciális függvényvel ($\ln W = a + bx + cx^2 + dx^3$) jellemezte a trágyázási kezelések hatását az összes szárazanyag produkció, a szemtermés alakulására, illetve másod- és harmadfokú exponenciális függvényvel ($\ln Z = a + bx + cx^2$ 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-moddellel 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 dóziséjú 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 $9,82 \text{ t ha}^{-1}$), míg aszályos évben az alacsonyabb trágyázási szinten ($3,01$ - $3,18 \text{ t ha}^{-1}$), illetve a 70 t ha^{-1} istállótrágya alkalmazásakor ($3,35 \text{ t ha}^{-1}$). 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 évjáráthatás.
7. A Hunt-Parsons növekedésanalízis modell lehetővé tette, hogy a növekedés teljes időszakában, illetve a növekedés különböző stádiumaiban pontosan jellemezzük a kukoricánövény 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.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Az évjáráthatás 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 évjáráthatás 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 kezeléseknak 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 évjáráthatás. Eredményeink is bizonyították, hogy aszályos években a műtrágyázás nagymértékű termésdepressziót okoz, míg az alacsonyabb dózisu műtrágyázás az időjárástól kevésbé függő, megbízhatóbb termést eredményez.

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 %), és 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 kukoricánövény 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 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 évjárat hatása volt szignifikánsan igazolható. A levélterület arány (LAR) elemzésekor, a függvényillesztés alkalmazásával sem tudtuk jobban elkülöníteni a kezeléshatásokat, mint a klasszikus módszerrel.

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 növekedésanalízis kutatások új összefüggéseket tárnak fel és adatokat szolgáltatnak a szimulációs modellekhez és a precíziós növénytermesztéshez. A kukoricahibridek növekedési dinamikájának és agronómiai reakcióinak tudományos vizsgálata nagymértékben hozzájárulhat a környezetkímélő, hatékony kukoricatermesztés tudományos megalapozásához.

IRODALOMJEGYZÉK

1. Árendás, T., Csathó, P. (1994): Azonos NPK-hatóanyagú szerves- és műtrágyázás hatása a talajtulajdonságok függvényében. *Agrokémia és Talajtan*. 43, 399-407.
2. Bajai J. (1959): Összefüggés a kukorica levélfelülete és a tenyészterület különféle alakja között. *Növénytermelés*. 3, 217-222.
3. Berzsényi Z. (2000): Növekedésanalízis a növénytermesztésben. Review. *Növénytermelés*. 49, (4) 389-404.
4. Berzsényi Z. (2009): Az ötven éves martonvásári tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. In: Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. Tudományos konferencia. Szerk.: Berzsényi Z., Árendás T. 37-49.
5. Berzsényi, 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.
6. Berzsényi Z., Györfly B. (1994): 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. 313-314.
7. Crossa, J. (1990): Statistical analyses of multilocation trials. *Adv. Agron.* 44, 55-85.
8. Evans, G.C. (1972): The quantitative analysis of plant growth. Blackwell Scientific Publications.
9. Ferencz V. (1958): A kukoricánövény tápanyaggazdálkodásának tanulmányozása. In: Kukoricatermesztési Kísérletek 1953-1957. Szerk.: I'so I. 59-79.
10. Gardner, F.P., Pearce, R.B., Mitchell, R.L. (1985): Physiology of Crop Plants. Iowa State University Press, Ames.
11. GenStat (2002): GenStat Release 13.1. Copyright 2002. Lawes Agricultural Trust, Rothamsted.
12. Györfly B. (1965): A kukorica tápanyagfelvétele. In: A növénytermesztés kézikönyve I. A kukorica. Szerk.: Györfly B. et al. 190-279.
13. Györfly B. (1979): Istálló- és műtrágya hatásának értékelése kukorica-monokultúrában a hatóanyag-azonosság elve alapján. Martonvásár 1959-1974. In: Kukoricatermesztési kísérletek 1968-1974. Szerk.: Bajai J. 279-289.
14. Hunt, R., Parsons, I.T. (1974): A computer program for deriving growth-functions in plant growth analysis. *J. Appl. Ecol.* 11, 297-307.
15. Hunt, R., Causton, D. R., Shipley, B., Askew, P. (2002): A modern tool for classical plant growth analysis. *Annals of Botany*. 90, 485-488.
16. Jenkinson, D.S. (1991): The Rothamsted long-term experiments: are they still of use? *Agronomy Journal*. 83, 1, 2-10.
17. 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.
18. Leigh, R.A., Johnston, A.E. (1994): Long Term Experiments in Agricultural and Ecological Sciences. CAB International. Wallingford, UK.
19. MSAT-C (1991): A Microcomputer Program for the Design, Management and Analysis of Agronomic Research Experiments. MSTAT Development Team, Michigan State University.
20. Précsényi I. (1980): Produktíobiológia. In: Agrobotanika. Szerk.: Hortobágyi T. 517-526.
21. Précsényi, I., Czímber, G., Csala, G., Szöcs, Z., Molnár, E., Melkó, E. (1976): Studies on the growth analysis of maize hybrid (OSSK-218 and DK XL-342). *Acta Bot.* 22, 185-200.
22. SPSS for Windows (2001): User's guide. Realise 11.0. SPSS Inc. Chicago.
23. Sváb J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMÁJÁBAN MEGJELENT PUBLIKÁCIÓK

Tudományos cikkek

Elsőszerzős közlemények:

- Micskei Gy.**, Jócsák I., Berzsényi Z.: 2009. Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica növekedésére és növekedési mutatóinak dinamikájára, eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 58 (4): 45-56.
- G. Micskei**, I. Jócsák, Z. Berzsényi: 2010. Studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. I. Using the classical method of plant growth analysis. *Acta Agronomica Hungarica*. 58 (3): 227-238.
- G. Micskei**, I. Jócsák, Z. Berzsényi: 2010. Studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. II. Using the Hunt-Parsons program for plant growth analysis. *Acta Agronomica Hungarica*. 58 (4): 355-365

Társszerzős közlemények:

- Z. Berzsényi, T. Árendás, P. Bónis, **G. Micskei**: 2011. Long-term effects of crop production factors on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different years. *Acta Agronomica Hungarica*. 59 (3): 191-200.
- Berzsényi Z., Lap D.Q., **Micskei Gy.**, Takács N.: 2005. Kukoricaszár és N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és termésstabilitására monokultúrás tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 54 (5-6): 433-446.
- Berzsényi Z., Lap D.Q., **Micskei Gy.**, Sugár E., Takács N.: 2007. Kukorica (*Zea mays* L.) hibridek N-műtrágyareakciójának jellemzése növekedésanalízissel. *Acta Agronomica Óváriensis*. 49 (2): 193-200.
- Z. Berzsényi, **G. Micskei**, I. Jócsák, P. Bónis, E. Sugár: 2010. Effects of innovate microbial management on maize (*Zea mays* L.) yield in a long-term fertilisation experiment. *Acta Agronomica Hungarica*. 58 (3): 239-251.
- P. Bónis, T. Árendás, I. Jócsák, C. Mikecz, **G. Micskei**, L.C. Marton: 2011. Effects of abiotic stress factors on the chlorophyll content of inbred maize lines. *Acta Agronomica Hungarica*. 59 (3): 201-207.
- Takács N., **Micskei Gy.**, Berzsényi Z.: 2008. Martonvásári kukorica genotípusok műtrágyareakciójának összehasonlító vizsgálata tartamkísérletekben. *Agrártudományi Közlemények*. 32, 103-109.

Referált konferencia kötetek

Elsőszerzős közlemények:

- Micskei Gy.**, Jócsák I., Árendás T., Bónis P., Berzsényi Z.: 2009. Az istálló- és műtrágya hatása a kukorica szemtermésére és terméskomponenseire a martonvásári monokultúra tartamkísérletben. Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében: *A martonvásári tartamkísérletek 50 éve*. Jubileumi Tudományos Konferencia. Ed.: Berzsényi Z., Árendás T. 127-132.
- Micskei Gy.**, Jócsák I., Berzsényi Z.: 2009. Az istállótrágya és műtrágya hatása a kukorica növekedési mutatóinak dinamikájára, eltérő évjáratokban. *V. Növénytermesztési Tudományos Nap, Proceedings Book*. Ed.: Harcsa M. 153-156.
- G., Micskei**, I., Jócsák, T., Árendás, P., Bónis, Z., Berzsényi: 2010. Effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the yield and yield components of maize in a long-term monoculture experiment in Martonvásár. *Acta Agronomica Hungarica*. 58 (Suppl.), 63-68.
- G. Micskei**, N. Takács, D.Q. Lap, Z. Berzsényi: 2008. Comparative studies on the effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth parameters of maize in different

years. *Cereal Research Communications*. Proceedings of the VII. Alps – Adria Scientific Workshop. Ed.: Hidvégi Sz. 36 (1): 227-230.

Társszerzős közlemények:

- Z. Berzsényi, T. Árendás, P. Bónis, **G. Micskei**: 2011. Long-term effect of crop production factors on maize productivity in different years. *Climate Change: Challenges and Opportunities in Agriculture: AGRISAFE Final Conference*. Ed.: Veisz O. 374-377.
- Berzsényi Z., Bónis P., Jócsák I., **Micskei Gy.**, Sugár E.: 2009. A kukorica hibridek N-műtrágya reakciója vetésforgó és monokultúra tartamkísérletekben. *V. Növénytermesztési Tudományos Nap*, Proceedings Book. Ed.: Harcsa M. 43-46.
- Berzsényi Z., Jócsák I., **Micskei Gy.**, Sugár E.: 2009. Agronómiai reakciók vizsgálata növekedésanalízissel és ökofiziológiai mérésekkel. *A martonvásári agrárkutatók hatodik évtizede, 1949-2009*. Ed.: Veisz O. 139-144.
- Z. Berzsényi, D.Q. Lap, **G. Micskei**, E. Sugár, N. Takács: 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*. Proceedings of the VI. Alps – Adria Scientific Workshop. Ed.: Hidvégi Sz. 35 (2): 249-252.
- Z. Berzsényi, D.Q. Lap, **G. Micskei**, N. Takács: 2006. Effect of sowing date and N fertilisation on grain yield and photosynthetic rates in maize (*Zea Mays* L.). *Cereal Research Communications*. Proceedings of the V. Alps – Adria Scientific Workshop. Ed.: Hidvégi Sz. 34 (2): 409-412.
- Z. Berzsényi, **G. Micskei**, E. Sugár: 2009. Management of plant-beneficial microbes to balance fertiliser inputs in maize (*Zea mays* L.). *Cereal Research Communications*. Proceedings of the VIII. Alps – Adria Scientific Workshop. Ed.: Hárs T. 37 (2): 305-308.
- P. Bónis, T. Árendás, I. Jócsák, C. Mikecz, **G. Micskei**, L.C. Marton: 2011. Effect of herbicides on the chlorophyll content of maize genotypes. *Climate Change: Challenges and Opportunities in Agriculture: AGRISAFE Final Conference*. Ed.: Veisz O. 143-146.

Konferencia összefoglalók, absztraktok

Elsőszerzős közlemények:

- G. Micskei**, N. Takács, D.Q. Lap, Z. Berzsényi: 2008. Effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the growth parameters of maize (*Zea mays* L.). *Italian Journal of Agronomy*. Supplement of the 10th Congress of the European Society for Agronomy. Ed.: Rossi Pisa, P. 3 (3): 155-156.

Társszerzős közlemények:

- Z. Berzsényi, D.Q. Lap, **G. Micskei**, E. Sugár: 2008. Effect of N fertilisation on the growth characteristics of maize (*Zea mays* L.) hybrids in a long-term experiment. *Italian Journal of Agronomy*. Supplement of the 10th Congress of the European Society for Agronomy. Ed.: Rossi Pisa, P. 3 (3): 177-178
- Z. Berzsényi, D.Q. Lap, **G. Micskei**, N. Takács, E. Sugár: 2006. Effect of sowing date and N-fertilisation on grain yield and photosynthetic rates in maize hybrids (*Zea mays* L.). *Bibliotheca Fragmenta Agronomica*. Proceedings of the IX. Congress of the European Society for Agronomy. Ed.: Fotyma, M., Kaminska, B. 11 (1): 47-48.
- Z. Berzsényi, D.Q. Lap, E. Sugár, N. Takács, **G. Micskei**: 2006. Dynamics of growth and growth characteristics as affected by sowing date, plant density and N-fertilisation in maize (*Zea mays* L.) hybrids. Abstracts of the *XXth International Conference of the Eucarpia Maize and Sorghum Section*. 28.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

Köszönettel tartozom témavezetőimnek, Berzsényi 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 alaposágukat, valamint előremutató és hasznos 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.