

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**NPK TÁPANYAGELLÁTÁS, ÖNTÖZÉS ÉS VETÉSVÁLTÁS HATÁSA
A RESEDA KUKORICA HIBRID TERMÉSÉRE MÉSZLEPEDÉKES
CSERNOZJOM TALAJON A HAJDÚSÁGBAN**

Vad Attila

**Témavezető: Dr. Pepó Péter
egyetemi tanár**



DEBRECENI EGYETEM

Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok

Doktori Iskola

Debrecen

2010

1. BEVEZETÉS, A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A világ növénytermesztésében meghatározó jelentőséggel bírnak a gabonafélék. Ezt bizonyítja, hogy a világ összes szántóterületének megközelítőleg felét gabonanövények foglalják el, amely közül 161 millió hektáros vetésterületével (*FAO adatok, 2008*) a kukorica a második helyen áll. Kukoricatermesztés szempontjából meghatározó országok az USA, Brazília és Kína, mely 3 ország adja a világ vetésterületének közel 50 %-át, ugyanakkor a világon termelt összes kukorica 65 %-a e három országban kerül előállításra. Európában Franciaország tölti be a vezető szerepet a termésmennyiség tekintetében, ugyanakkor a vetésterület szempontjából meghatározó területtel bír Ukrajna és Románia.

A kukorica felhasználásának újabb iránya lett az utóbbi évtizedben a bioetanol-előállítás, mely alternatív hajtóanyagként jelenik meg. Az üzemanyag célú bioetanol-termelés 2009-ben 73,9 millió m³ volt. A legjelentősebb termelésnövekedést az USA produkálta 12 %-kal, ez több, mint 100 millió tonna kukorica feldolgozását jelenti, ezzel szemben Dél-Amerikában és Brazíliában a bioetanol-előállítása stagnált. Az Európai Unió a nemzetközi gabonatanács előzetes becslése alapján, 2009-ben 9 %-kal növelte termelését, ehhez 7,6 millió tonna gabonát, az előző évinél 40 %-kal többet használt fel. Az EU öt legnagyobb bioetanol előállítója Franciaország, Németország, Spanyolország, Lengyelország és Magyarország.

Hazánkban a kukorica és a búza vetésterülete a szántóterületnek (4,5 millió hektár) közel 50 %-át foglalja el. Az 1920-as évektől kezdődően a kukorica termőterülete meghaladta az 1 millió hektárt, ez abból adódik, hogy az állattenyésztés legfontosabb takarmánybázisát szolgáltatta a kukorica.

A növénytermesztés eredményességét alapvetően az ökológiai, biológiai és agrotechnikai tényezők együttesen határozzák meg. Az ökológiai tényezők adottságként jelentkeznek, melyhez a sikeres adaptáció a biológiailag, agronómiailag és ökonómiailag hatékony termelés kulcsa lehet. Az utóbbi években a klimatikus tényezők a szélsőségektől sem voltak mentesek, ami az alkalmazkodás fontosságát helyezi előtérbe. Ezt alátámasztja az a tény, hogy a termésingadozás mértéke jelentősen nőtt (30-50 %) az elmúlt két évtizedben. A csapadék éves mennyiségének ingadozása mellett egyre nagyobb lett a tenyészidőszakon belüli szélsőséges eloszlás.

A termesztéstechnológiai tényezőket termésre gyakorolt hatásuk alapján súlyozni szükséges. Ezek alapján megkülönböztetünk ún. kritikus termesztéstechnológiai elemeket. A kritikus termesztéstechnológiai elemek a termést döntő mértékben meghatározzák, ezért ezeknél a tényezőknél egy ún. optimum szint biztosítása elengedhetetlen. A

kukoricatermesztés esetében ilyen kritikus termesztéstechnológiai elemek a vetésváltás, az öntözés és a tápanyagellátás. Ezen tényezők hatása azonban nem egyenként, hanem interaktív módon, kölcsönhatásukban érvényesülnek.

Kísérleti eredmények bizonyítják, hogy a növényi produktumot döntően határozza meg a növény számára felvehető víz mennyisége. Hazánkban a lehullott csapadék mennyiségéből, illetve a növények párologtatásával és a felszín párologásával távozott víz mennyiségéből képzett mutatószám az évjáratok többségében negatív, így a megfelelő mennyiségű termés képződéséhez hiányzó vízmennyiséget pótolni szükséges. További problémákat okoz, hogy nem csak a lehullott csapadék mennyisége, hanem annak eloszlása is kedvezőtlen a növénytermesztés szempontjából. Azonban hazánkban az öntözött területek nagysága nem éri el a 200 000 hektárt, ezeken a területeken is elsősorban zöldségtermesztés folyik. Az utóbbi években tapasztalható szélsőséges időjárás (elsősorban az aszály) kedvezőtlen hatásainak mérséklésére kiváló eszköz az öntözés. Az öntözés költségigénye igen magas, ezért fontos megismernünk az öntözés hatékonyságát befolyásoló ökológiai, biológiai és agrotechnikai tényezőket.

A növényi élet alapja a víz mellett a különböző tápelemek. A műtrágya-felhasználás volumene Magyarországon jelentős változásokon ment keresztül az elmúlt fél évszázadban. A II. világháború utáni időszakról a szakma és a technológia fejlődésével egyre tudatosabbá vált a tápanyag-gazdálkodás. 1960 előtt igen alacsony szintű volt hazánkban a műtrágya-felhasználás, ezzel alacsony szintű 2 t ha⁻¹ termésátlag párosult. Ezt követően intenzív növekedés indult meg a felhasznált hatóanyag tekintetében, amely egészen a '70-es évek közepéig folytatódott. Ez idő alatt – illetve az ezt követő szakaszban is – a talajok feltöltődtek tápanyagokkal, ennek hatására a termésátlagok is emelkedtek (6 t ha⁻¹). 1975-85 évek közötti állandó, nagyarányú műtrágyázás (280 kg ha⁻¹) után 1985-90 közötti időszakban már enyhén csökkenő tendencia figyelhető meg a műtrágya-felhasználásban (230 kg ha⁻¹). A rendszerváltás után drasztikusan, 30-40 kg ha⁻¹-ra csökkent a kijuttatott műtrágya mennyisége. Ennek hatása már a termésen, elsősorban a termésingadozás mértékének növekedésében, illetve a termés nagyságának évjárattól való függőségében mutatkozott meg. A rendszerváltástól napjainkig enyhe növekedés tapasztalható a műtrágya-felhasználás tekintetében, de a termés nagyságát elsősorban az évjárat jellege határozza meg. A jelenlegi műtrágyázásra a nitrogén túlsúlya a jellemző.

Az agrotechnikai tényezők közül kétség kívül a legolcsóbb, ugyanakkor az egyik legnagyobb befolyással bíró elem a vetésváltás. Az elővetemény több szempontból is befolyásolja az öt követő növény fejlődését. Az elővetemény lekerülési ideje döntően a

talajmunkák minőségét és a talaj beéredési folyamatait határozza meg. Az általa visszahagyott szármagvány mennyisége és minősége az előbb említett tényezőkön kívül a talaj tápanyag- és szervesanyag-tartalmát egyaránt befolyásolja. Növényegészségügyi szempontból a közös kórokozók, kártevők és gyomok mennyiségét és károsításának mértékét is meghatározza az elővetemény. Az utóbbi évek szélsőséges csapadékeloszlásának következtében felértékelődött az elővetemény talaj vízkészletére gyakorolt hatása is. A növényi sorrend tudatos meghatározásával közvetett hatást tudunk gyakorolni a felhasznált inputok hatékonyságának alakulására.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A kutatómunka során célul tűztük ki a különböző évjáratok kukorica termésére gyakorolt hatásának vizsgálatát, a vetésváltás, az NPK tápanyagellátás és az öntözés kukoricatermesztésben betöltött szerepének komplex értékelését. Az előbb említett változó tényezők komplex vizsgálata, a közöttük lévő interakciók számszerűsítése, a különböző vizsgált termesztéstechnológiai tényezők termésre gyakorolt hatásának számszerűsítése is céljaink között szerepelt. Az adatok elemzése alapján térségi viszonyokra adaptálható NPK tápanyagellátási javaslat kidolgozását is a dolgozat feladatául határoztuk meg. Kísérleti eredményeink nagy jelentőséggel bírnak a térségi kukoricatermesztés eredményességének javításában, a megfelelő NPK tápanyagellátás és öntözési rend meghatározásában, a kritikus termesztéstechnológiai paraméterek pontosításában.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

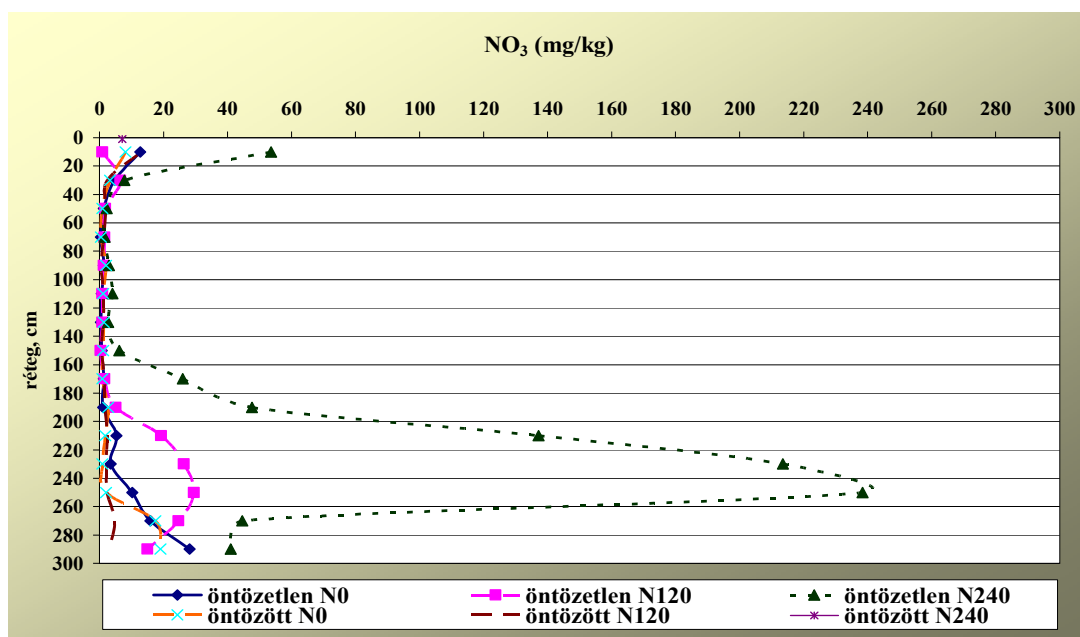
3.1. A kísérlet helye, a kísérleti parcellák talajvizsgálati eredményei

Kísérleteinket a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Debreceni Kutató Intézet és Tangazdaság Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén végeztük a †Dr. Ruzsányi László professzor úr által alapított szabatos szántóföldi tartamkísérletben 2004-2009 között.

A kísérleti terület talaja löszön képződött, mély humuszrétegű alföldi mészlepedékes csernozjom talaj. A kísérlet talaja jó kultúrállapotú, középkötött (*Arany-féle* kötöttség 38-40), talajfizikailag a középkötött vályog kategóriába sorolható. A kísérlet területén a humuszos réteg vastagsága 80-90 cm között változik. Az egyenletesen humuszos réteg átlagos humusztartalma 2,8 %.

A talajvizsgálati eredmények alapján (KÁTAI, 2006) megállapítható, hogy a tartamkísérletben végzett műtrágyakezelések hatására mind a vizes, mind a KCL-es pH (0,7-0,8) jelentős mértékben csökkent a növekvő trágyaadagok hatására. A kontroll kezelésekben öntözetlen körülmények között mind a vizes, mind KCL-os pH közel azonos eredményeket mutattak mono- és trikulturá esetén. Öntözött körülmények között mért értékek azonban mind a kontroll, mind a különböző műtrágyakezelések esetében mintegy 0,2-0,4 vizes és KCL-os pH csökkenést mutattak az öntözetlen körülményekhez mért értékekhez képest mono- és trikulturá esetén egyaránt. A kísérleti terület vizes pH értéke 5,6-6,8, míg KCL-os pH értéke 4,7-5,9 között változott.

A Dr. Győri Zoltán által vezetett Regionális Műszerközpont 2000-ben végzett mérései alapján megállapítható, hogy a műtrágyázás hatására jelentős akkumulációs zóna alakult ki a kísérleti terület talaján 200-300 cm-es rétegében öntözetlen körülmények között, a legnagyobb trágyakezelés esetén (1. ábra).

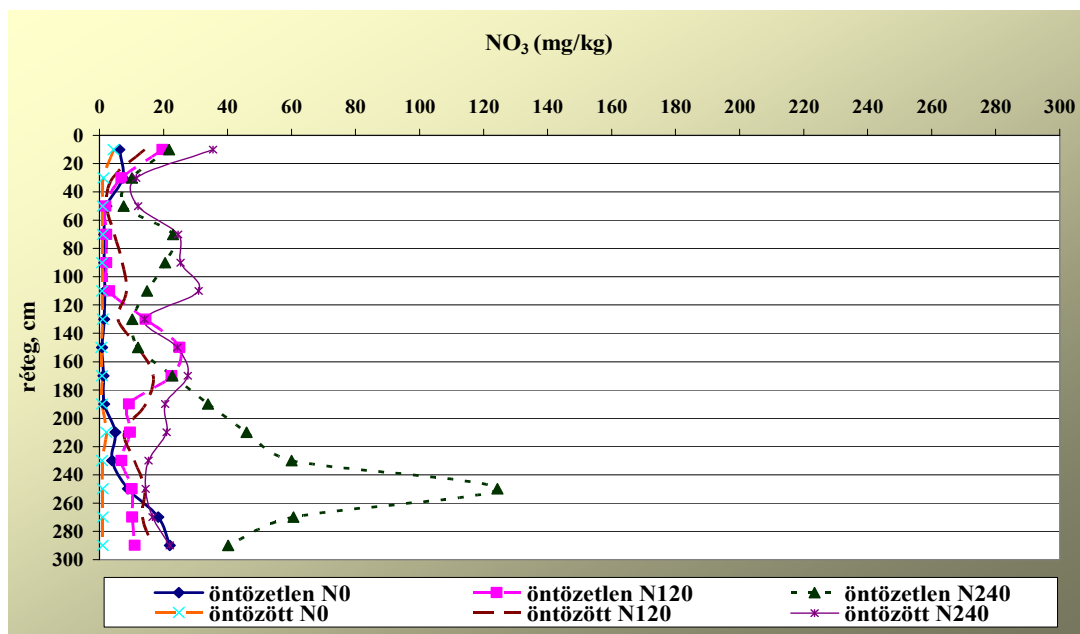


1. ábra. A műtrágyázás hatása a talaj NO_3 nitrogén tartalmára monokultúrás termesztésben

(Debrecen-Látókép, 2000)
(Forrás: Győri Z. adatai alapján)

Bikultúrában ugyan hasonló tendenciák figyelhetők meg, viszont a felhalmozódási réteg jóval kisebb nitrát tartalmú, mint monokultúra esetén az őszi búza-kukorica vetésváltásban a két növény gyökérzete eltérő mélységből használja fel a rendelkezésre álló nitrogén hatóanyagot, így kevésbé tud kialakulni azonos talajrétegben nitrogén felhalmozódás. Mindkét vetésváltási modellben jól látható, hogy az öntözött kezelések

esetében a nagy adagú trágyakezeléseknél sem alakult ki hasonló akkumulációs zóna, ami annak tudható be, hogy az öntözés által kiváltott erőteljes vertikális vízmozgás következtében a nitrát felhalmozódás nagy valószínűséggel a vizsgált talajszelvény alatt található. Ugyanakkor a felhalmozódási zóna hiányát az is okozhatja, hogy az öntözés által indukált erőteljesebb tápanyagfelvétel következtében kevesebb tápanyag marad a talajban (2. ábra).



2. ábra. A műtrágyázás hatása a talaj NO₃ nitrogén tartalmára bikultúrárs termesztésben
(Debrecen-Látókép, 2000)
(Forrás: Győri Z. adatai alapján)

Monokultúrában az Al-oldható P₂O₅ tartalom esetében kisebb mértékű változást tapasztaltunk a különböző trágyakezelések hatására mind öntözött, mind öntözetlen körülmények között a kísérleti terület 60-300 cm-es rétegét tekintve. Ugyanakkor a művelt rétegben 0-40 cm a növekvő trágyaadagok hatására jelentős mértékű P₂O₅ tartalom növekedés figyelhető meg. A nagy adagú trágyakezelések esetében 200 mg/kg feletti értékeket mértek mind öntözött, mind öntözetlen körülmények között. Mindkét öntözési modell esetén a 40 cm-es réteg alatt drasztikusan csökkent a talaj P₂O₅ tartalma, ami a tápelem művelt rétegben való felhalmozódására enged következtetni.

A kálium esetében – hasonlóan a foszforhoz – a talaj felső művelt rétegében (0-40 cm) a trágyakezelések hatására jelentős mértékű felhalmozódás mutatható ki (320-420 mg/kg értékek). Ugyanakkor a foszfornál sokkal erőteljesebben mutatkozik a változás a talaj alsó rétegeiben (60-300 cm-es rétegek átlaga). Jelentős felhalmozódás figyelhető meg a legnagyobb NPK kezelés esetén, amelynél a kontroll kezelésnél mért értékek közel

kétszeresét mérték. Ez arra enged következtetni, hogy a talajban a nitrogénhez hasonló, de jóval kisebb arányú felhalmozódási réteg jelenik meg a trágyakezelések hatására a talaj alsóbb rétegeiben. Ugyanakkor fontos megjegyezni, hogy ez a kálium tartalom növekedés elsősorban abból adódhat, hogy az aszályos periódusban a talajban repedések képződnek, így a hirtelen nagy mennyiségű csapadék hatására a talajkolloidok felületén kötött kálium lemosódhat az említett rétegben (1. táblázat).

1. táblázat. A NPK tápanyagellátás hatása a talaj Al-oldható P_2O_5 és K_2O tartalmára monokultúrás kukorica esetén (mg/kg)
(Debrecen-Látókép, 2000)

Monokultúra						
P_2O_5	öntözetlen			öntözött		
	$N_0P_0K_0$	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{240}P_{180}K_{180}$	$N_0P_0K_0$	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{240}P_{180}K_{180}$
0-20 cm	186,5	166,8	278,6	85,1	133,1	206,1
20-40 cm	96,4	85,1	278,6	71,0	106,1	194,9
40-60 cm	36,9	42,6	45,4	36,9	31,2	48,3
60-300 cm átlaga	72,3	69,4	106,8	83,0	101,1	120,2
K_2O						
0-20 cm	226,1	247,3	323,7	234,0	317,8	423,0
20-40 cm	191,0	169,5	365,7	232,7	350,8	373,5
40-60 cm	152,6	111,7	171,8	171,2	178,8	209,3
60-300 cm átlaga	137,4	127,5	224,4	130,6	174,1	225,0

Forrás: Győri adatai alapján

Bikultúrában hasonló tendenciák figyelhetők meg, mint monokultúra esetében, azzal a különbséggel, hogy a talaj abszolút tápelem tartalma elsősorban foszfor tekintetében kisebb értékeket mutat (2. táblázat).

2. táblázat. A NPK tápanyagellátás hatása a talaj Al-oldható P_2O_5 és K_2O tartalmára monokultúrás kukorica esetén (mg/kg)
(Debrecen-Látókép, 2000)

Bikultúra						
P_2O_5	öntözetlen			öntözött		
	$N_0P_0K_0$	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{240}P_{180}K_{180}$	$N_0P_0K_0$	$N_{120}P_{90}K_{90}$	$N_{240}P_{180}K_{180}$
0-20 cm	84,0	147,4	72,5	46,6	187,6	284,9
20-40 cm	58,1	84,0	267,8	37,9	63,9	153,1
40-60 cm	40,8	43,7	184,7	35,0	40,8	43,7
60-300 cm	100,5	103,0	135,4	89,0	130,0	151,5
K_2O						
0-20 cm	193,8	272,5	322,4	180,1	316,5	333,4
20-40 cm	173,7	174,1	228,6	133,6	154,8	310,4
40-60 cm	116,7	115,6	145,9	117,7	110,6	116,7
60-300 cm	109,7	134,3	193,9	91,4	143,5	199,1

Forrás: Győri adatai alapján

3.2. A kísérlet beállítása

A tartamkísérletben beállított kezelések három kritikus termesztéstechnológiai elem, illetve ezek interaktív hatásának vizsgálatát teszik lehetővé. Az első termesztéstechnológiai elem a vetésváltás, melyből három modell került beállításra [monokultúra, bikultúra (búza, kukorica), trikultúra (borsó, búza, kukorica)].

A kísérletben öt különböző tápanyagkezelés kerül beállításra. Az első a műtrágyázatlan kontroll, a további kezelések az N60, P₂O₅ 45, K₂O 45 kg ha⁻¹ egész számú többszöröse N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ szintig. A N 50 %-a, illetve a P és a K teljes mennyisége ősszel került kijuttatásra, míg a N fennmaradó 50 %-a a tavaszi magágy-készítést megelőzően.

A harmadik vizsgált termesztéstechnológiai elem a kísérletben az öntözés. Az egy öntözési forgóban kijuttatott öntözővíz mennyisége 50 mm volt, melyet két részletben juttattunk ki az elfolyási veszteség csökkentése érdekében. Az öntözés időpontját a kumulált vízhiány értékek, illetve az extrém száraz hőség napok által előidézett akut vízhiány értékek határozták meg. Az alkalmazott öntözési eljárás lineár típusú berendezéssel végrehajtott esőszerű öntözés volt.

3.3. A kísérletben alkalmazott agrotechnika

A kísérletben alkalmazott talajművelési eljárásokban a konvencionális műveleteket helyeztük előtérbe, illetve törekedtünk arra, hogy a műveleteket mindig optimális időben végezzük el a talajszerkezet indokolatlan károsítása nélkül. A kísérletben a következő művelési rend alapján végeztük a talajmunkákat:

- tarlólántás
- az ősszel kiszórt műtrágya bekeverése
- őszi mélyszántás
- tavaszi szántáselmunkálás
- magágykészítés

Az alkalmazott hibrid minden évben azonos, a *PR37M81 (Reseda)* volt, az alkalmazott állománysűrűség értéke 60 000 tő/ha. A kísérletek vetése április 20. körül történt az optimális talajállapotok figyelembe vételével.

A kísérletben alkalmazott növényvédelmi kezelések a vetésváltásokat tekintve egységesek voltak. Ez alól kivételt képez a talajfertőtlenítési eljárás, melyet csak a monokultúrás kísérletben alkalmaztunk vetéssel egy menetben, az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárvakártételének kiküszöbölésére. A kísérletekben a gyomflórához leginkább alkalmazható herbicideket választottuk, amelyeket a jó gyomirtó hatás elérése céljából preemergens és posztemergens permetezéssel használtunk.

3.4. Az eredmények értékelésének módszere

Az adatok statisztikai értékelését *Microsoft Excel*[®], illetve *SPSS for Windows 13.0* programok segítségével végeztük el. Az eredmények statisztikai értékelésénél kéttényezős variancia analízist alkalmaztunk. A trágyázás és az öntözés termésre gyakorolt hatását regresszió analízis segítségével értékeltük. A különböző függő és független változók közötti összefüggést a *Pearson-féle* korreláció számítással végeztük el. Az agrotechnikai tényezők termésre gyakorolt hatásának számszerűsítése variancia komponensek felosztásával készült.

3.5. Az vizsgált évek időjárásának jellemzése

A 2004. tenyészév időjárása optimálishoz közeli feltételeket biztosított a kukorica állományok fejlődéséhez. A kedvező őszi – téli - kora tavaszi időjárást követően, a májusi szárazság és hidegebb időjárás csak részben hátráltatta az állományok fejlődését. A vegetatív és generatív fejlődés szempontjából determinatív időszak (június-július-augusztus) szinte optimális feltételeket nyújtott a kukorica termésképződése számára. A szeptemberi időjárás a szemtelítődési folyamatokat segítette elő. A kedvező időjárási hatások eredményeként jó terméseredményeket értünk el az idei évben.

2005. tenyészév időjárása kedvező volt a kukorica vegetatív és generatív fejlődése szempontjából. Különösen kedvező, gyakorlatilag optimális volt a vízellátása a tenyészidő teljes hosszában. A hőmérsékleti viszonyok is az átlag körül alakultak. Jellemző volt az évjáratra a levélleszáradás késői megkezdődése és lassú üteme, amely növelte az állományok asszimilációs kapacitását. A kedvezőtlen időjárási hatások a vegetációs periódus egy-egy szűk szakaszára korlátozódtak (április második felének csapadékos időjárása, május eleji és június eleji hűvösebb időjárás). A kedvező időjárási hatások lehetővé tették a nagy termések kialakulását. A kedvező csapadékviszonyoknak köszönhetően ebben az évben a kísérletekben öntözést nem alkalmaztunk.

A 2006. évi időjárásról megállapítható, hogy a rövidebb kedvezőtlen periódusoktól (késői kitavaszkodás, május és június elejei lehülés, júliusi kánikula) eltekintve alapvetően kedvező volt a kukorica állományok vegetatív és generatív fejlődése szempontjából, amely kedvező terméseredmények kialakulását tette lehetővé.

A 2006. év őszenek száraz, meleg időjárása a téli, tavaszi és nyári hónapokban is folytatódott. Különösen kedvezőtlen volt a kukorica termésképződése szempontjából a virágzáskori és szemtelítődéskori hőség, szárazság és erőteljes napsütés, melynek következtében a termésmennyiségek jelentősen csökkentek. Az aszályos időjárás kedvezőtlen hatását a talaj vízgazdálkodási tulajdonságai csak részben tudták kompenzálni. A tenyészidő

végén (augusztus második fele, szeptember) érkező hűvös, csapadékos időjárás a felgyorsult fejlődés következtében a vegetáció befejező fenofázisaiban található kukorica állományok szentelítődését, termésmennyiségét érdemben kevésbé tudta befolyásolni. A 2007. év extrém, aszályos időjárása a kukorica adaptációs képességét jelentős mértékben próbára tette.

A 2008. tenyészév időjárása alapvetően kedvező volt a kukorica vegetatív és generatív fejlődése és termésképződése szempontjából. A kezdeti fejlődésének a hűvös időjárás ugyan nem kedvezett, de május közepétől az időjárási tényezők optimális szinten segítették a kukorica állományok fejlődését júniusban és a termékenyülését, kezdeti szentelítődését júliusban. Ennek következtében hatalmas vegetatív tömeg képződött ebben az évben. Az augusztusi száraz, meleg időjárás hatását a talaj vízkészlete mérsékelte. A szeptember első felének kánikulai időjárása az asszimilációs terület rendkívül gyors leszáradását, a szentelítődési folyamatok kedvezőtlené válását eredményezte. A szeptember második felének hűvös, csapadékos időjárása már érdemben nem befolyásolta a szemkitalítódást, az állományok fiziológiai érése megtörtént. A kedvező vízellátás következtében, a kísérletben öntözést nem alkalmaztunk.

A 2009. tenyészév időjárása kedvezőtlen volt a kukorica vegetatív és generatív fejlődése, termésképződése szempontjából. Ezt a kedvezőtlen hatást a talaj víz- és tápanyaggazdálkodási tulajdonságai csak részben tudták kompenzálni. Kedvezőtlen hatású volt a kukorica vegetatív fejlődése szempontjából az áprilisi-májusi, valamint a júliusi-augusztusi kánikulai meleg és szinte teljes csapadékhiány. A nagyobb terméseszkökenést a júniusi bőséges csapadék akadályozta meg (3. táblázat). A kedvezőtlen időjárási hatások miatt mérsékeltőbb terméseket kaptunk a 2009. évi kísérletünkben.

3. táblázat. A csapadék mennyiség alakulása és eltérése a sokéves átlagtól
(Debrecen-Látókép, 2004-2009)

	Csapadék (mm)						30 éves átlag (1968-1997)
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
Tenyészidőszakon kívüli (X-III)	210,9	205,4	248,8	128,2	214,8	203,2	220,2
Eltérés a 30 éves átlagtól	-9,3	-14,8	28,6	-92,0	-5,4	-17,0	
Tenyészidő hónapjaiban							
IV.	40,0	74,9	92,3	3,6	74,9	9,9	42,4
V.	17,0	75,8	58,3	54,0	47,6	20,3	58,8
VI.	61,7	54,3	77,1	22,8	140,1	96,6	79,5
VII.	142,2	99,7	30,8	39,7	144,9	9,2	65,7
VIII.	50,2	135,7	62,4	77,6	34,2	11,3	60,7
IX.	31,3	61,7	5,3	86,1	42,2	21,7	38,0
Összesen	342,4	502,1	326,2	283,8	483,9	169,0	345,1
Eltérés a 30 éves átlagtól	-2,7	157,0	-18,9	-61,2	138,8	-176,1	
Kukorica év csapadéka (X-IX.)	553,3	707,5	575,0	412,0	698,7	372,2	565,3
Eltérés a 30 éves átlagtól	-12,0	142,2	9,7	-153,3	133,4	-193,1	

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Az eredmények évenkénti elemzése

Vizsgálatainkban a kísérletben szereplő, termést befolyásoló tényezőket évenként, illetve a 6 év átlagában egyaránt vizsgáltuk függvény illesztéssel, illetve egyéb, a későbbiekben ismertetésre kerülő statisztikai módszerek segítségével.

A 2004-es évben a monokultúras vetésváltási modellben különböző trágyaszintek közötti különbségek az $N_{120}P_{90}K_{90}$ trágyaszintig bizonyultak szignifikánsan, az e fölötti trágyaszinteken ugyan további termésnövekedés tapasztalható, de ennek mértéke nem érte el a szignifikáns szintet. Öntözött körülmények között a trágyareakció hasonló értékekkel jellemezhető, valamivel magasabb termésszinten. A trágyakezelések hatására a 7157 kg ha^{-1} kontroll termés több mint kétszeresére, 14347 kg ha^{-1} értékre növekedett. Az öntözés hatását vizsgálva megállapítható, hogy az öntözés termésnövelő hatása ebben a vetésváltásban viszonylag kismértékű volt (7,1 %), ami döntően a jó vízellátottságú év kedvező hatásának tulajdonítható.

Bikultúras termesztésben jóval kisebb trágyahatások mutatkoztak, mint monokultúras termesztésben. Alapvető különbség azonban a kontroll termés mennyiségében mutatkozott, amely több mint 2500 kg ha^{-1} értékkel magasabb volt a monokultúras termesztésnél mért kontroll terméshez viszonyítva. Öntözetlen körülmények között a trágyázással elért relatív termés növekedés mértéke is jóval kisebb mértékűnek bizonyult, azaz 13,9-38,3 % között mozgott. Öntözés hatására a bikultúra vetésforgóban a trágyázás terméstöbblete mind abszolút, mind relatív értékben jelentős mértékben lecsökkent (6,4-13,0 %). Az öntözés hatása ebben a vetésváltási modellben sajátosan alakult. Mind a kontroll, mind az $N_{60}P_{45}K_{45}$ esetében jelentős (2049 illetve 1453 kg ha^{-1}), megbízható mértékű termésnövekményt kaptunk az említett trágyaszinteken. Azonban az $N_{120}P_{90}K_{90}$ trágyakezelésnél már nem szignifikáns mértékű volt a termésnövekmény, az ennél magasabb trágyaszinteken nem megbízható mértékű terméscsökkenés következett be.

Trikultúras vetésváltásban öntözetlenül a termés $10\,404$ - $13\,179 \text{ kg ha}^{-1}$ értékek között változott. Ebben a vetésváltási és öntözési kombinációban sajátosan alakult a tápanyagreakció. A trágyakezelések mindegyike szignifikáns termésnövekedést eredményezett, ugyanakkor a tápanyagszintek között csak a kontroll és $N_{60}P_{45}K_{45}$ kezelés között tapasztalható megbízható mértékű különbség. Öntözetlen körülmények között abszolút értékben legmagasabb termést az $N_{120}P_{90}K_{90}$ tápanyagszintnél mértünk. Öntözés hatására a tápanyagkezelések közötti különbség némileg módosult. A kontrollhoz viszonyítva minden

tápanyagszint szignifikáns terméshozaddást adott, ugyanakkor a növekvő trágyaadag hatására az $N_{180}P_{135}K_{135}$ értékig a kezelések egymáshoz képest is megbízható mértékű terméshozaddást eredményeztek. Az öntözetlen kezelésekhez képest az öntözés hatására egyetlen tápanyagszinten sem tapasztaltunk szignifikáns mértékű terméshozaddást, ami elsősorban a jó vízellátottságú évnek köszönhető. Összességében megállapítható, hogy a 2004. év kedvező időjárási viszonyai az öntözéshatást jelentős mértékben módosították, ugyanakkor a tápanyagkezelések esetén az évjárat mellett a vetésváltási rendszer is jelentős módosító tényezőként hatott.

A kedvező csapadékviszonyoknak köszönhetően 2005-ben öntözni nem kellett. A kontroll kezelés termése a monokultúras termesztésben $8\,403\text{ kg ha}^{-1}$ volt öntözetlen körülmények között. A trágyakezelések hatása a 2004. évhez képest hasonlóan alakult minden kezelés esetén, azaz a trágyakezelések mindegyike megbízható mértékű terméshozaddást eredményezett. Legtöbb termést ($13\,685\text{ kg ha}^{-1}$) a legnagyobb, $N_{240}P_{180}K_{180}$ trágyakezelésnél mértük.

Bikultúra vetésváltási modellben az előző évhez képest magasabb kontroll termést ($11\,006\text{ kg ha}^{-1}$) értünk el, amely a monokultúras termesztéshez képest is jelentős $2\,603\text{ kg ha}^{-1}$ terméshozaddást jelent, ami a vetésváltás pozitív hatását támasztja alá. Abszolút értékben is ennél a trágyázási szintnél kaptuk a legtöbb termést ($12\,976\text{ kg ha}^{-1}$), az ennél nagyobb trágyaadagok esetében – bár nem szignifikáns mértékű – termésnövekedést állapíthatunk meg.

Trikultúrában abszolút értékben a legtöbb termést az $N_{60}P_{45}K_{45}$ trágyaszinten értük el, ugyanakkor a relatív termésnövekedés értéke szűk intervallumban (12,0-16,8 %) mozgott. Minden trágyaszint megbízható mértékű terméshozaddást eredményezett, azonban az $N_{60}P_{45}K_{45}$ szinthez képest minden kezelésnél termésnövekedést tapasztaltunk, melynek mértéke a kontroll és $N_{240}P_{180}K_{180}$ kezelés esetén bizonyult szignifikánsnak.

2006-ban a monokultúrában az eddig vizsgált évekhez képest alacsonyabb terméseket tapasztaltunk. Abszolút értékben az $N_{180}P_{135}K_{135}$ esetében mértük a termésmaximumot ($9\,403\text{ kg ha}^{-1}$), ugyanakkor az $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelésnél mért terméseredményhez képest ez az érték már nem bizonyult megbízható mértékűnek. Öntözött körülmények között hasonló tendenciákat állapíthatunk meg, azonban a trágyakezelések hatása jóval nagyobb mértékűnek bizonyult, amit alátámaszt a relatív termésnövekedés intervalluma (37,9-73,5 %) is. Az öntözés hatására a kontroll és $N_{60}P_{45}K_{45}$ termésszintek kivételével szignifikáns terméshozaddást állapíthatunk meg, melynek relatív értékei viszonylag szűk intervallumban (-5,2-19,5 %) mozgottak.

Bikultúrában öntözetlenül a kontroll termés mértéke (8 284 kg ha⁻¹) jelentős mértékben meghaladta a monokultúrában tapasztalt termésszintet (6 575 kg ha⁻¹). A vizsgált kezelések mindegyike megbízható mértékű termésnövekedést eredményezett, a kezelések közül az N₁₂₀P₉₀K₉₀ szinten mértük a termésmaximumot (11 813 kg ha⁻¹). Öntözött körülmények között a monokultúrához viszonyított kontroll termése (9 428 kg ha⁻¹) magasabb volt, és ehhez képest minden trágyaszint szignifikáns termésnövekedést eredményezett. A vizsgált kezelések közül abszolút értékben legtöbb termést az N₁₂₀P₉₀K₉₀ trágyaszinten kaptunk, az ettől magasabb trágyaszintek szignifikáns termésnövekedést okoztak. Pozitív öntözéshatást minden kezelésben tapasztaltunk, ennek mértéke megbízható volt a kontroll, N₁₂₀P₉₀K₉₀, illetve N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ kezelésekben. Trikultúrában az előző két vetésváltáshoz viszonyítva jóval kisebb mértékű relatív termésnövekedést tapasztaltunk (16,3-24,8 %), mely elsősorban az öntözetlen kezelések magas (9 770 kg ha⁻¹) kontroll termésének a következménye. Abszolút mértékben legtöbb termést az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelésben kaptunk. Öntözött körülmények között – bár a különböző trágyaszinteken mért termések abszolút értéke közel azonos volt – a relatív termésváltozás mértéke (31,2-36,1 %) magasabb szinten mozgott, mint öntözetlen körülmények között. Ugyanakkor az öntözés hatására ez az intervallum jóval kisebb lett. Az öntözés hatása 2006-ban sajátosan mutatkozott meg trikultúrában. Több kezelés esetében (kontroll, N₁₂₀P₉₀K₉₀, N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅) termésnövekedést állapítottunk meg az öntözött parcellákon mért eredmények alapján, azonban a három említett trágyaszint közül csak a kontroll esetében igazolódott szignifikánsan a termésnövekedés.

Öntözetlen körülmények között 2007-ben monokultúras termesztésben a kísérleti években a legkisebb terméseredmények születtek. Jól mutatja ezt a kontroll termése (2 685 kg ha⁻¹), illetve a legtöbb, N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ tápanyagszinten mért, kontrollhoz képest is alacsonyabb (2 487 kg ha⁻¹), ami azonban a szignifikancia határon belül maradt. A kezelések közül csak az N₆₀P₄₅K₄₅, illetve az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelések eredményeztek megbízható mértékű termésnövekedést, az ennél magasabb trágyaszintek az N₁₂₀P₉₀K₉₀ szinthez képest szignifikáns mértékű termésnövekedést okoztak. Az előbbiekkal ellentétben csak pozitív előjelű termésnövekedést eredményezett a trágyázás öntözött körülmények esetén. Minden trágyakezelés a kontrollhoz képest megbízható mértékű termésnövekedést eredményezett abszolút értékben mért maximális termés az N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅ szinten adódott, az ennél magasabb trágyaszinten (N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀) már szignifikáns termésnövekedés következett be. A relatív termésnövekedés mértéke 36,4-68,8 % között mozgott, ami igen jelentős pozitív trágyahatást mutat. Az öntözés termésnövelő hatása az extrém száraz évjáratnak köszönhetően kiugróan magas határértékek között változott, kivétel nélkül pozitív irányban (94,0-222,0 %). Abszolút

értékben a termésnövekmény a legnagyobb öntözéshatásnál $5\,898\text{ kg ha}^{-1}$ volt, ami jól jelzi száraz évjáratban az öntözés determinatív hatását. Az öntözés által elért legkisebb termésnövekmény $2\,525\text{ kg ha}^{-1}$ volt, melyet a kontroll trágyakezelésnél mértünk.

Bikultúrában öntözetlen körülmények között – a monokultúras modellel ellentétben – a különböző trágyaszintek egyike sem okozott terméseszköket. A trágyakezelések termésnövelő hatása viszonylag szűk intervallumban mozgott (9,1-23,1 %), a termésmaximumot az $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelés során mértünk ($7\,706\text{ kg ha}^{-1}$). Öntözött körülmények között már jóval több volt a kontroll termésszint ($8\,413\text{ kg ha}^{-1}$), és ehhez képest minden trágyakezelés a szignifikancia szint feletti termésnövekedést eredményezett. Öntözés hatására minden trágyaszinten jelentős mértékű, a megbízhatósági szintet többszörösen meghaladó termésnövekedést értünk el, mely jól bizonyítja száraz körülmények között az öntözés fontosságát. Abszolút értékben legnagyobb öntözéshatást ($3\,274\text{ kg ha}^{-1}$) az optimális, $N_{120}P_{90}K_{90}$ trágyakezelésnél kaptunk.

Trikultúrában tapasztaltunk a három vetésciklus közül a legmagasabb öntözetlen kontroll termést ($6\,716\text{ kg ha}^{-1}$). A termésmaximum a legkisebb $N_{60}P_{45}K_{45}$ kezelésnél mutatkozott, ehhez képest minden trágyakezelés szignifikánsan kisebb termést adott.

Öntözött körülmények között a kontroll termése hasonlóan magas szintű volt, mint őszi búza-kukorica vetésciklus esetén. Legtöbb termést az $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelés esetében mértünk, mert ugyan kis mértékben, de szignifikánsan magasabb minden egyes trágyakezelésnél. Az öntözés hatása markánsnak bizonyult, ugyanis minden trágyakezelés esetében – hasonlóan az előbbieken elemzett két vetésciklus modellhez – jelentős mértékű termésnövekedést tapasztaltunk. Az öntözés legnagyobb mértékű termésnövekedést a termés maximumot mutató $N_{120}P_{90}K_{90}$ kezelés esetében eredményezte.

A kedvező csapadékviszonyoknak köszönhetően 2008-ban a kísérletekben öntözést nem alkalmaztunk. Monokultúrában is kimagasló kontroll termést mértünk ($9\,154\text{ kg ha}^{-1}$). Ez a magas termésszint jelentős mértékben növekedett a trágyázás hatására. A kontrollhoz viszonyított termésnövekmény elérte a $4\,633\text{ kg ha}^{-1}$, amely a termésmaximumot eredményező $N_{180}P_{135}K_{135}$ szinten mértünk. Bikultúrában a vizsgált hat év tekintetében is a legmagasabb kontroll termést mértük ($11\,613\text{ kg ha}^{-1}$). Az évjárat sajátos jellegét jól bizonyítja, hogy a különböző tápanyagszintek között nem adódott megbízható mértékű terméskülönbség. Tendenciájában hasonló megállapítások tehetők trikulturna vetésciklusban is. A bikultúrához hasonlóan kiugróan magas kontroll termést mértünk ($11\,291\text{ kg ha}^{-1}$), ehhez képest a trágyázás minden tápanyagszinten 2 tonna feletti termésnövekményt eredményezett.

Termésmaximum ($13\,987\text{ kg ha}^{-1}$) $N_{120}P_{90}K_{90}$ termésszinten mutatkozott, és a termésváltozás mértéke is a bikultúráéhoz hasonlóan nagyon szűk tartományban változott (18,0-23,9 %).

A 2009-ben monokultúrában a kontroll termése $6\,106\text{ kg ha}^{-1}$ volt. Minden trágyaszinten megbízható mértékű termésnövekedést mértünk, melynek intervalluma $2\,545\text{--}3\,304\text{ kg ha}^{-1}$ között mozgott. Termésmaximumot ($9\,410\text{ kg ha}^{-1}$) az $N_{180}P_{135}K_{135}$ szinten mértünk. Öntözés hatására jelentős mértékben növekedett a műtrágyázás termésnövelő hatása. Az öntözés hatása viszonylag mérsékeltnek tekinthető ebben a vetésváltási modellben. Minden trágyakezelésben szignifikáns mértékű termésnövekedést eredményezett az öntözés. Ennek mértéke trágyázatlan kezelés esetében volt a legkisebb (527 kg ha^{-1}), míg legmagasabb öntözéshatást az $N_{240}P_{180}K_{180}$ tápanyagszintnél tapasztaltunk ($2\,475\text{ kg ha}^{-1}$).

Bikultúrában a kontroll kezeléshez képest minden tápanyagszinten megbízható mértékű termésnövekedés adódott, a termésmaximumot $N_{120}P_{90}K_{90}$ termésszinten tapasztaltuk. Hasonlóan alakultak a terméseredmények öntözött körülmények között is, azzal a különbséggel, hogy a trágyázás hatására kapott termésnövekedés abszolút értékei jóval magasabb szintre tehetők ($2\,301\text{--}3\,524\text{ kg ha}^{-1}$). A termésváltozás mértéke $N_{60}P_{45}K_{45}$, $N_{120}P_{90}K_{90}$, illetve $N_{240}P_{180}K_{180}$ kezelések esetében volt szignifikáns az öntözés hatására. Az öntözés termésnövelő hatása abszolút értékben is alacsony volt (kontroll esetében 333 kg ha^{-1}), míg a legnagyobb öntözéshatás esetében is $1\,647\text{ kg ha}^{-1}$.

Trikultúrában viszonylag magas kontroll termést mértünk ($8\,689\text{ kg ha}^{-1}$). Minden trágyaadag megbízható mértékben növelte a termést, azonban az $N_{60}P_{45}K_{45}$ szinttől kezdődően a trágyázás hatása viszont csökkenő hatékonyságú volt. Ezek az eredmények jelentősen módosultak az öntözés hatására, ugyanis a magas szintű ($9\,385\text{ kg ha}^{-1}$) kontroll termés ellenére is nagy mértékű ($1\,824\text{--}3\,480\text{ kg ha}^{-1}$) termésnövekedés következett be különböző trágyakezelések hatására. Az öntözés hatása a kontroll kivételével minden trágyakezelésben szignifikáns volt, és mértéke a három vetésváltási modell közül a legnagyobb volt ($696\text{--}2\,952\text{ kg ha}^{-1}$).

4.2. A vizsgált évek eredményeinek összevont statisztikai értékelése

4.2.1. A vetésváltás, tápanyagellátás és öntözés interaktív hatásának értékelése

A 6 év átlagában mért értékek minden vetésváltási modellben igazolták a trágyázás kontrollhoz viszonyított szignifikáns hatását (4. táblázat). Öntözetlen körülmények között monokultúrás termesztésben a kontroll termése $6\,677\text{ kg ha}^{-1}$ volt a vizsgált évek átlagában. A trágyázás által elért termésnövekedés mértéke $2\,206\text{--}3\,590\text{ kg ha}^{-1}$ értékek között mozgott. Legtöbb termést ($10\,267\text{ kg ha}^{-1}$) az $N_{180}P_{90}K_{90}$ trágyaszint eredményezte, de ehhez képest

sem az N₁₂₀P₉₀K₉₀, sem a N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ kezeléseknél mért termés nem bizonyult szignifikánsan kisebbnek. A relatív termésváltozás mértéke a hat év átlagában a trágyakezelések hatására viszonylag széles tartományban változott (33-53,8 %).

4. táblázat. A vetésváltás és a tápanyagellátás hatása öntözetlen és öntözött körülmények között a kukorica szemtermésére, termésnövekedésére a vizsgált évek átlagában (Debrecen-Látókép, 2004-2009)

Trágyakezelés (B)		Monokultúra		Bikultúra			Triktúra		
		Termés (kg ha ⁻¹)	D mtr. (kg ha ⁻¹)	Termés (kg ha ⁻¹)	D mtr. (kg ha ⁻¹)	D mono (kg ha ⁻¹)	Termés (kg ha ⁻¹)	D mtr. (kg ha ⁻¹)	D mono (kg ha ⁻¹)
Öntözetlen (A)	N ₀ P ₀ K ₀	6677	0	9487	0	2810	9700	0	3023
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	8883	2206	11071	1584	2188	11532	1832	2649
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	10157	3480	11947	2460	1790	11540	1840	1383
	N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	10267	3590	11732	2245	1465	11242	1542	975
	N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	10046	3369	11257	1770	1211	11158	1458	1112
Öntözött (A)	N ₀ P ₀ K ₀	6946	0	10574	0	3628	9758	0	2812
	N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	9550	2604	12065	1491	2515	12171	2413	2621
	N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	11186	4239	12994	2420	1808	12683	2925	1497
	N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	11866	4920	12395	1821	529	12445	2687	579
	N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	11789	4843	12059	1485	270	12232	2474	443
SZD _{5%} (A)		1447		850			1018		
SZD _{5%} (B)		356		259			243		
SZD _{5%} (AxB)		504		366			344		

Bikultúrában a kontroll termése a monokultúrához képest jelentős mértékben növekedett (9 487 kg ha⁻¹). Minden vizsgált trágyakezelés szignifikáns termésnövekedést eredményezett, a termésmaximumot N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelésnél mértük (11 947 kg ha⁻¹). Azonban az N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅ kezelés a termésmaximumhoz képest nem szignifikáns eltérést mutatott. A monokultúrában mért kontroll terméséhez viszonyítva ebben a vetésváltási modellben jelentős mértékű (2 810-5 270 kg ha⁻¹) abszolút termésnövekedést mértünk. A termésmaximum N₁₂₀P₉₀K₉₀ szintjén mutatkozott, azonban az N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅ szinten mért termés nem bizonyult megbízható mértékben kisebbnek. A relatív termésváltozás a kontrollhoz képest a monokultúránál szűkebb tartományban mozgott (16,7-25,9 %).

A triktúrában a kontroll termése (9 700 kg ha⁻¹) meghaladta a bikultúrában mért értéket, a monokultúrához képest a vetésforgó termésre gyakorolt hatása a kontroll termésnél 3 023 kg ha⁻¹ volt. A trágyakezelések hatása ennél a vetésforgónál igen kiegyenlítettnek bizonyult, a különböző trágyaszintek között kis mértékű különbségek adódtak. Termésmaximum (11 540 kg ha⁻¹) az N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelésnél adódott, de ehhez képest az N₆₀P₄₅K₄₅ kezelés a szignifikancia határon belüli változást mutatott. A relatív termésváltozás

intervalluma a magas kontroll termésnek és a trágyaszintek közötti kis különbségnek köszönhetően nagyon szűk (4 %) sávban mozgott.

Öntözés esetén a monokultúras termesztésben mért kontroll termése (6 946 kg ha⁻¹) volt. A trágyázás termésmenvelő hatása minden tápanyagkezelésnél megbízhatónak bizonyult. Legnagyobb volt a termésmenvekedés az N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅ trágyázási szinten (4 920 kg ha⁻¹), azonban az N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ kezelésben mért termés ettől a szignifikancia határon belüli értékkel kevesebb (11 789 kg ha⁻¹). A relatív termésváltozás mértéke a vizsgált kezelés kombinációk közül a legnagyobb szélső értékek között változott (37,5-70,8 %), ami a trágyázás kiemelkedő hatását bizonyítja öntözött körülmények között. Ez a kezelés kombináció közel azonos eredményeket mutat – az N₆₀P₄₅K₄₅ szint kivételével - az öntözetlen bi- és trikultúrában tapasztalt trágyareakciókkal.

Bikultúra vetésváltásban öntözetlenül a monokultúras kontroll terméséhez képest a többi kezelés kombinációhoz viszonyítva is kimagasló mértékben növekedett a kontroll termése (10 574 kg ha⁻¹). E magas kontrollszinthez képest is minden trágyakezelés megbízhatóan növelte a termést, de a trágyaszintek között mérsékelt különbségek adódtak. A vizsgált kezelések közül legnagyobb termést N₁₂₀P₉₀K₉₀ kezelésnél mértünk, ehhez képest minden trágyakezelés szignifikánsan kisebb termést adott. A magas kontroll termésének következtében relatív termésváltozás mértéke a trágyázás hatására 14,0-22,9 % között változott.

Trikultúrában a kontroll termés szintén magas szinten mozgott és a bikultúrához viszonyítva közel azonos lefutású trágyareakció adódott a vizsgált évek átlagában. A termésmaximumot (12 683 kg ha⁻¹) az N₁₂₀P₉₀K₉₀ termés szintnél mértünk, azonban az N₁₈₀P₁₃₅K₁₃₅ szint esetén mért termés (12 445 kg ha⁻¹) sem mutatott szignifikáns eltérést. A relatív termésváltozás mértéke 24,7-30,0 % között változott.

Az öntözés a hat év átlagában viszonylag mérsékelt hatást mutatott. A vizsgált évek átlagában legnagyobb mértékű termésmenvelő hatást monokultúrában mértünk (269-1 743 kg ha⁻¹), ami az öntözetlen kezelésekhöz képest 4,0-17,3 %-os termésmenvekedést eredményezett. Bikultúrában a monokultúrához képest a különböző trágyaszintek között jóval kisebb öntözéshatást tudunk kimutatni. Az öntözés termésmenvelő hatásának intervalluma 663-1 087 kg ha⁻¹ értékek között változott, köszönhetően a különböző trágyakezeléseken tapasztalt kis mértékű eltéréseknek, a relatív termésváltozás értékei 5,7-11,5 % között változtak. Ennél is szűkebb volt a trikultúra esetén tapasztalt relatív termésmenvelő hatás, amely 0,6-10,7 % között változott. Az öntözés a termésre a magasabb trágyaszinteken gyakorolt legnagyobb hatást

(1 074-1 203 kg ha⁻¹ termésnövekedés), ugyanakkor a kontroll kezelések esetén elhanyagolható (58 kg ha⁻¹) volt a termésnövekedés (5. táblázat).

5. táblázat. Az öntözés és a tápanyagellátás hatása különböző vetésváltási rendszerekben termesztett kukorica abszolút és relatív termésnövekedésére a vizsgált évek átlagában

(Debrecen-Látókép, 2004-2009)

Tápanyagkezelés	Öntözetlen		Öntözött		Öntözéshatás	
	eltérés kg ha ⁻¹	eltérés %-ban	eltérés kg ha ⁻¹	eltérés %-ban	eltérés kg ha ⁻¹	eltérés %-ban
MONOKULTÚRA						
N ₀ P ₀ K ₀	0	100,0	0	100,0	269	104,0
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	2206	133,0	2604	137,5	667	107,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	3480	152,1	4239	161,0	1028	110,1
N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	3590	153,8	4920	170,8	1599	115,6
N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	3369	150,5	4843	169,7	1743	117,3
BIKULTÚRA						
N ₀ P ₀ K ₀	0	100,0	0	100,0	1087	111,5
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1584	116,7	1491	114,1	994	109,0
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	2460	125,9	2421	122,9	1047	108,8
N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	2245	123,7	1821	117,2	663	105,7
N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	1770	118,7	1485	114,0	802	107,1
TRIKULTÚRA						
N ₀ P ₀ K ₀	0	100,0	0	100,0	58	100,6
N ₆₀ P ₄₅ K ₄₅	1832	118,9	2413	124,7	640	105,5
N ₁₂₀ P ₉₀ K ₉₀	1840	119,0	2925	130,0	1143	109,9
N ₁₈₀ P ₁₃₅ K ₁₃₅	1542	115,9	2687	127,5	1203	110,7
N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₁₈₀	1458	115,0	2474	125,4	1074	109,6

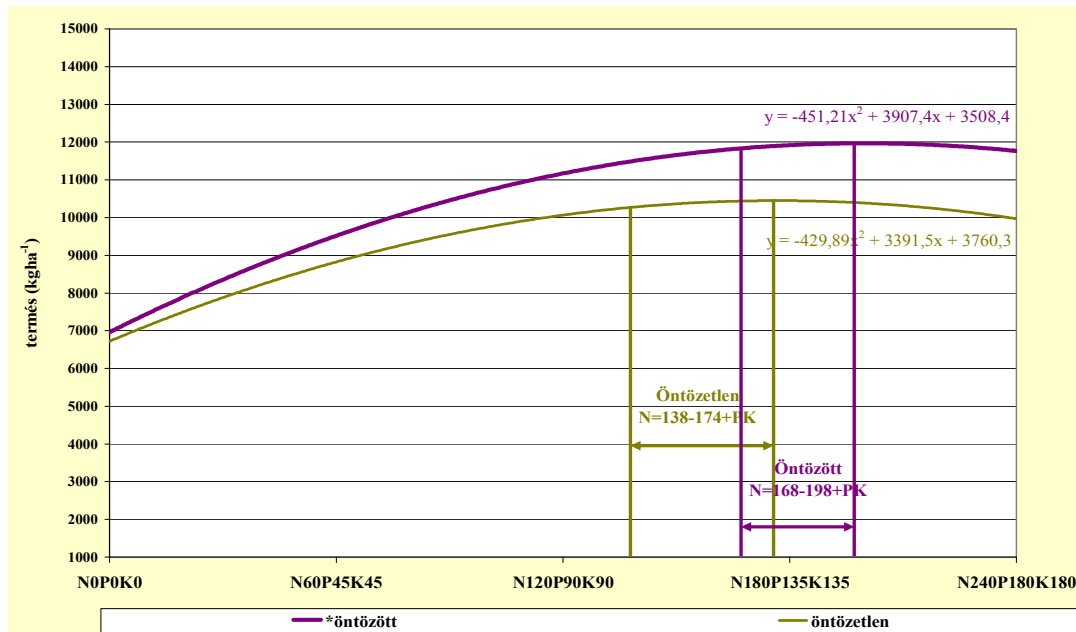
4.2.2. A műtrágyaoptimumok és azok intervallumának meghatározása

A 6 év eredményei alapján *regresszió analízissel* számított trágyaoptimum-intervallum értékei jelentősen változtak öntözetlen körülmények között a vetésváltás hatására. Legmagasabb trágyaoptimumot a monokultúra esetében tapasztaltunk (N₁₇₄P₁₃₀K₁₃₀). A trágyaoptimum-intervallum meghatározásánál a termésmaximumhoz tartozó trágyaérték és az ettől a szignifikáns terméskülönbség felével csökkentett tápanyagértéket vettük figyelembe. Monokultúrában ez az érték 36 kg N, 27 kg P és 27 kg K volt (3. ábra).

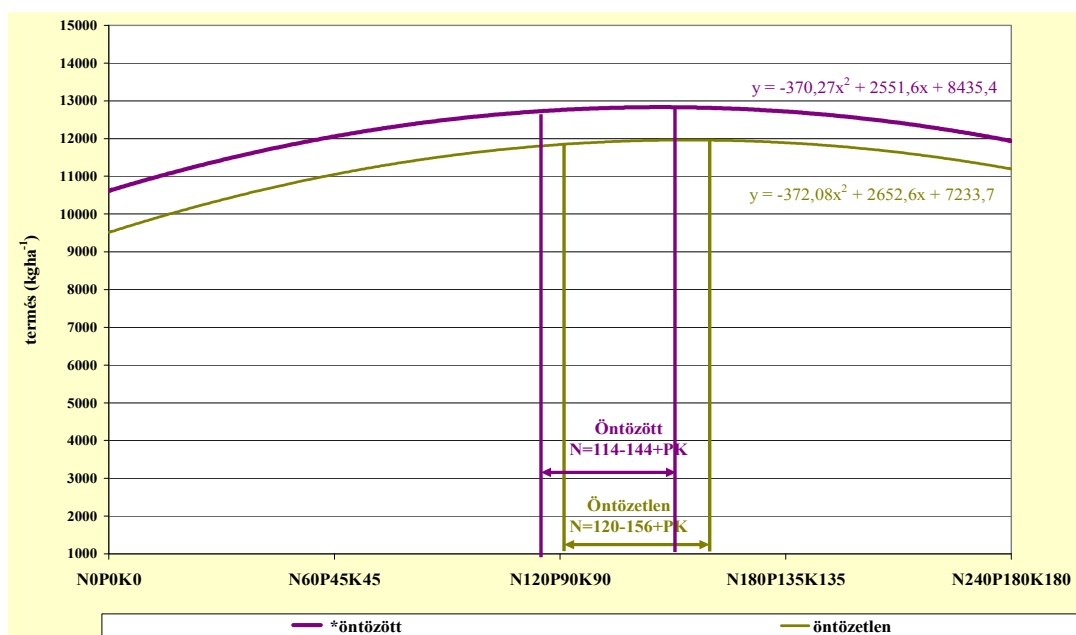
Bikultúra esetén az intervallum szélessége nem változott (36 kg), azonban 18 kg N, 13 kg P és 13 kg K hatóanyag kg értékkel alacsonyabb szinten mozgott. Tri kultúra esetén mind az intervallum, mind a szélsőértékek csökkentek. A termésmaximumhoz tartozó N szint 30 kg-al kevesebb tri kultúrában, és a trágyaoptimum-intervallum szélessége is csökkent (30 kg N, 23 kg P és 23 kg K).

Öntözés hatására monokultúra esetén jelentős mértékű trágyaoptimum növekedést tapasztaltunk (168-198 kg ha⁻¹ N, 126-148 kg ha⁻¹ P és 126-148 kg ha⁻¹ K). Az intervallum szélessége 30 kg ha⁻¹ N, 22 kg ha⁻¹ P és 22 kg ha⁻¹ K volt az öntözött monokultúrában

termesztésben. Jóval kisebb mértékű trágyaadagok adódtak az öntözött bikultúrák termesztés esetén ($114\text{-}144 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $85\text{-}108 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ és $85\text{-}108 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$). Az öntözés hatására bikultúrában az öntözetlen bikultúrához képest is kis mértékű csökkenés mutatkozott. Trikulturás termesztés esetén az öntözés hatására 12 kg ha^{-1} értékkel növekedtek a N optimum szélső értékei ($126\text{-}156 \text{ kg ha}^{-1}$), míg ugyanez a növekedés P és K esetében 9 kg ha^{-1} volt.



3. ábra. A tápanyag-ellátás hatása a kukorica termésére és a trágyaoptimum-intervallumok alakulása öntözetlen és öntözött viszonyok között monokultúrában (Debrecen-Látókép, 2004-2009)

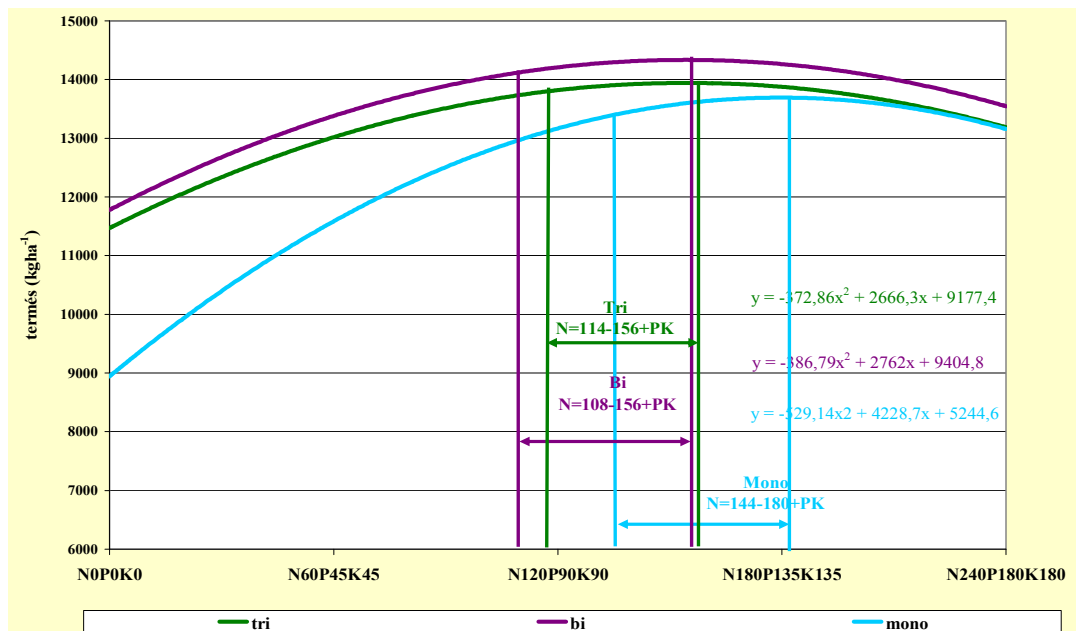


4. ábra. A tápanyag-ellátás hatása a kukorica termésére és a trágyaoptimum-intervallumok alakulása öntözetlen és öntözött viszonyok között monokultúrában (Debrecen-Látókép, 2007)

A 2007. extrém aszályos év sajátosan alakította a trágyaoptimumok szélsőértékeit, és annak szélességét. Monokultúra esetén a trágyaoptimum-intervallum nagysága nem változott ($30 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$), ugyanakkor 60 kg ha^{-1} -ral magasabb értékekkel határoztuk meg az optimum intervallumot, mely monokultúras termesztés esetén kiválóan jellemzi az erőteljes öntözés x trágyázás interakciót. Öntözetlen körülmények között monokultúrában $78\text{-}108 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $58\text{-}81 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ és $58\text{-}81 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ intervallumok adódtak (4. ábra).

A monokultúrában tapasztalt érékekhez képest a bikultúra jelentős szélsőérték és intervallum-növekedést mutatott ($84\text{-}138 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $63\text{-}103 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ és $63\text{-}103 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$). Az előzőekben említett hasonló tendenciákkal jellemezhető a trikulturnál tapasztalt trágyaoptimum-intervallum is azzal a különbséggel, hogy a szélsőértékek jóval kisebbnek bizonyultak a másik két vetésváltási modellhez viszonyítva ($36\text{-}96 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $27\text{-}72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ és $27\text{-}72 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$).

A kifejezetten csapadékos 2008. évben minden vetésváltási modellben viszonylag magas trágyaoptimumokat mértünk. Monokultúras termesztésben ez az intervallum $144\text{-}180 \text{ kg ha}^{-1} \text{ N}$, $126\text{-}148 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$ és $126\text{-}148 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}$ értékek között változott. Bikultúra esetén ez az intervallum szélesebb lett, ugyanakkor a trágyaoptimum értéke monokultúrához képest 24 kg ha^{-1} -os csökkenést mutatott N esetében. Hasonló tendencia figyelhető meg trikulturnál is, kis mértékű trágyaoptimum-intervallum alsó értékének növekedésére (5. ábra).



5. ábra. A tápanyag-ellátás hatása a kukorica termésére és a trágyaoptimum-intervallumok alakulása (Debrecen-Látókép, 2008)

4.2.3. A különböző direkt- és indirekt faktorok termésre gyakorolt hatásának vizsgálata korreláció analízissel

Pearson-féle korreláció analízissel vizsgáltuk az öntözés és a tápanyagellátás termésre gyakorolt hatását. A vizsgált évek külön-külön történő elemzése során megállapítható, hogy a trágyázás hatását vizsgálatainkban döntően az elővetemény határozta meg, míg az öntözés hatását döntően az évjárat befolyásolta. Ezt alátámasztja a monokultúrában számított r értékek alakulása, mely szinte minden vizsgált évben – az extrém száraz 2007. év kivételével – szoros pozitív korrelációt mutatott (0,7357-0,9357). A legmagasabb r értékek a jó vízellátottságú években 2004, 2005, 2008 adódtak. Ez a tény jól mutatja a tápanyagellátás x vízellátottság interakciót. Az öntözéshatás a száraz 2007. évben volt a legnagyobb (0,9051), illetve a szélsőséges csapadékeloszlással jellemezhető 2009. évben tapasztaltunk közepes mértékű öntözéshatást.

A monokultúrához képest kevesebb szoros, 0,7 feletti korrelációt tapasztaltunk bikultúra vetésváltási modellben. Trágyázás tekintetében csak a jó vízellátottságú 2004. évben tapasztaltunk szoros korrelációt (0,7189), mind 2005-ben, mind 2008-ban pedig pozitív, közepes mértékű volt az összefüggés. Az öntözés az aszályos 2007. évben markáns hatást gyakorolt a termések alakulására (0,8738). Trikkultúra vetésváltási modellben a bikultúrához hasonló összefüggéseket találtunk mind a korreláció irányát, mind erősségét tekintve. Így legnagyobb mértékű trágyahatás a 2004. évben adódott a többi vizsgált évben a – száraz 2007. évet kivéve – pozitív, de csak közepes mértékű korrelációt tapasztaltunk. Az öntözéshatás csak a 2007. évben mutatott szoros összefüggést (0,8755).

A hat év eredményei alapján Pearson-féle korrelációval vizsgáltuk az öntözés hatását a termés x trágya kölcsönhatás mértékére és irányára. Monokultúrában igen szoros összefüggés adódott mind öntözetlen, mind öntözött körülmények között esetében. Öntözetlen körülmények között a 2006-2007. évek kivételével szoros pozitív korrelációt mértünk (0,7636-0,9471). A 2006. évben csak közepes mértékű volt ez az összefüggés, míg 2007-ben gyenge és negatív irányú korreláció adódott. Az öntözés látványos hatást gyakorolt a trágya x termés kölcsönhatás r értékeire. Minden vizsgált évben erős, pozitív irányú összefüggést tapasztaltunk, a vizsgált évek döntő többségénél ez az érték meghaladta az öntözetlen körülmények között számított értékeket (0,7944-0,9388). Legnagyobb változás a 2007. évben mutatkozott, amikor az öntözetlen kezelésben számított negatív érték (-0,2354) erős pozitív kölcsönhatássá (0,7944) változott az öntözés hatására.

Bikultúra vetésváltási modell esetén szoros összefüggést csak 2004-ben, az öntözetlen kezelésben kaptunk (0,9163). A vizsgált évek közül 2007 és 2009 kivételével a többi év

esetében csak közepes mértékű, pozitív összefüggés adódott. Trikultúra esetén a monokultúrához képest jelentős mértékben csökkent a termés x trágya kölcsönhatás r értéke minden évben. Öntözetlen körülmények között 2007 és 2009 kivételével közepes mértékű pozitív korrelációt állapítottunk meg (0,4362-0,6833). Az aszályos 2007. évben az öntözetlen körülmények között tapasztalt negatív irányú gyenge összefüggés közepes mértékű pozitív r értékre változott az öntözés hatására (6. táblázat).

6. táblázat. Az öntözés és a tápanyagellátás termésre gyakorolt hatásának korreláció analízissel számított r értékei különböző vetésváltási modellek esetén
(Debrecen-Látókép, 2004-2009)

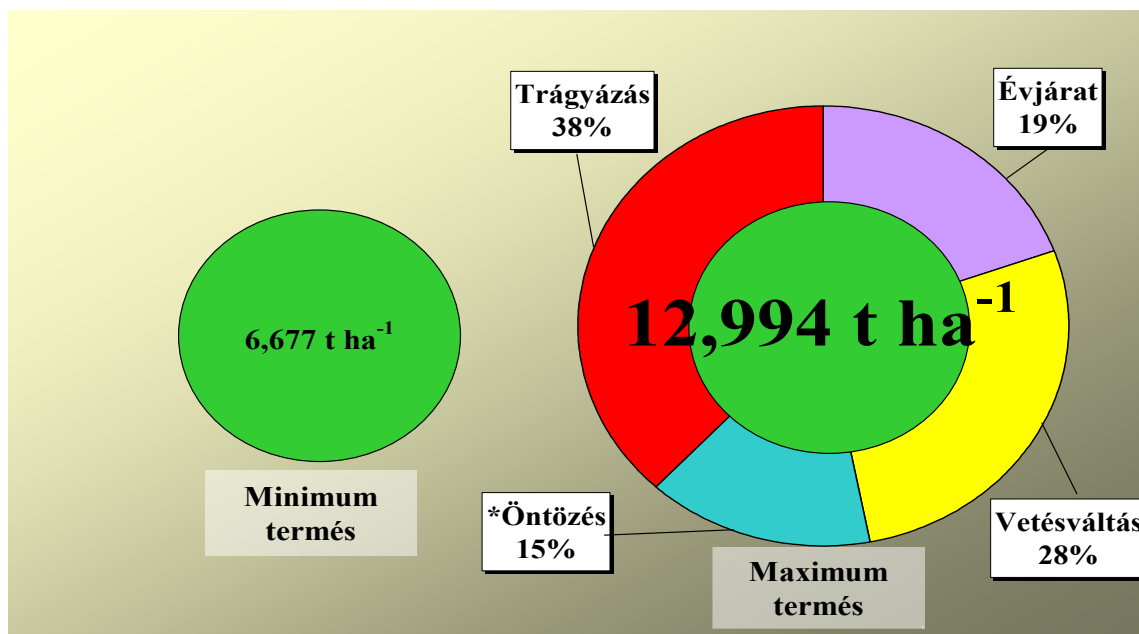
		Monokultúra	Bikultúra	Trikultúra
2004	tápanyagellátás x termés	0,8754	0,7189	0,7261
	öntözés x termés	0,0924	0,2774	0,2320
2005	tápanyagellátás x termés	0,9357	0,5344	0,4890
	öntözés utóhatás x termés	-0,1235	-0,0508	-0,1045
2006	tápanyagellátás x termés	0,7357	0,4877	0,6819
	öntözés x termés	0,2544	0,3174	-0,0402
2007	tápanyagellátás x termés	0,1741	0,1390	0,0758
	öntözés x termés	0,9051	0,8738	0,8755
2008	tápanyagellátás x termés	0,8550	0,5583	0,6020
	öntözés utóhatás x termés	-0,0444	0,0501	0,0315
2009	tápanyagellátás x termés	0,7444	0,3771	0,2279
	öntözés x termés	0,4321	0,4860	0,6220

6 év átlagában vizsgált összefüggések mind a tápanyagellátás, mind az öntözés tekintetében pozitív, ugyanakkor mérsékelt eredményeket mutatnak. A tápanyagellátás tekintetében közepes pozitív korreláció mutatkozott monokultúra esetében (0,4585), míg bi- és trikultúra esetén pozitív előjelű, de gyenge korrelációt számítottunk. Öntözés esetében nem tudtunk szorosabb összefüggést a hat év átlagában kimutatni, ami elsősorban annak tudható be, hogy a vizsgált évek közül 4 év átlagos, vagy azt meghaladó csapadékosságú volt. Ugyanebben az időszakban csak 2007 és 2009 nevezhető száraz évjáratnak.

Az agrotechnikai tényezőkön kívül elemeztünk különböző meteorológiai paraméterek és a termés kölcsönhatását. A vizsgált időjárási paraméterek közül mind a csapadék, mind a hőmérséklet jelentős hatást gyakorolt a terméseredmények alakulására. A téli és nyári félév csapadéka minden vetésváltási modellben közepes, pozitív irányú kölcsönhatást mutatott. A tenyészedőszak hónapjaiban hullott csapadék közül legnagyobb hatást a termésre a júniusi és júliusi csapadék gyakorolta, minden vetésváltási modellben közepes mértékű pozitív korreláció mutatkozott. A hőmérsékleti paraméterek és a termés összefüggéseinek vizsgálatakor megállapítható, hogy a hőmérsékleti paraméterek kivétel nélkül negatív előjelű összefüggést mutatnak.

4.2.4. A különböző direkt- és indirekt tényezők termés alakító hatásának számszerűsítése variancia komponensek felosztásával

Kísérleteinkben számszerűsítettük a vizsgált agrotechnikai tényezők termést alakító szerepét a variancia komponensek felosztása alapján. A vizsgált agrotechnikai tényezők szerepének meghatározásakor a kontroll termését tekintettük alapnak öntözetlen körülmények között monokultúrában, és a tényezőkombinációk által elért maximális terméshez tartozó terméshozadékot osztottuk fel a vizsgált agrotechnikai paraméterek között. A hat vizsgálati év eredményeit alapul véve megállapítható, hogy a kontroll termések átlaga $6,677 \text{ t ha}^{-1}$ volt, mely a kísérletekben alkalmazott agrotechnikai tényezők hatására $12,994 \text{ t ha}^{-1}$ értékre növekedett. A vizsgált tényezők közül a hat év átlagában legnagyobb hatást ($38\% = 2,398 \text{ t ha}^{-1}$) a trágyázás fejtette ki. Ezt követte a vetésváltás, melynek termést alakító szerepe 28% -ra tehető ($1,742 \text{ t ha}^{-1}$). A következő jelentős faktor az évjárat volt (19%), mely $1,230 \text{ t ha}^{-1}$ értékkel járult hozzá a terméshozadékhoz. A vizsgált tényezők közül a legkisebb mértékű hatást ($0,947 \text{ t ha}^{-1}$) az öntözés gyakorolt, mely a tényezők közül 15% súllyal befolyásolta a termés alakulását (6. ábra).



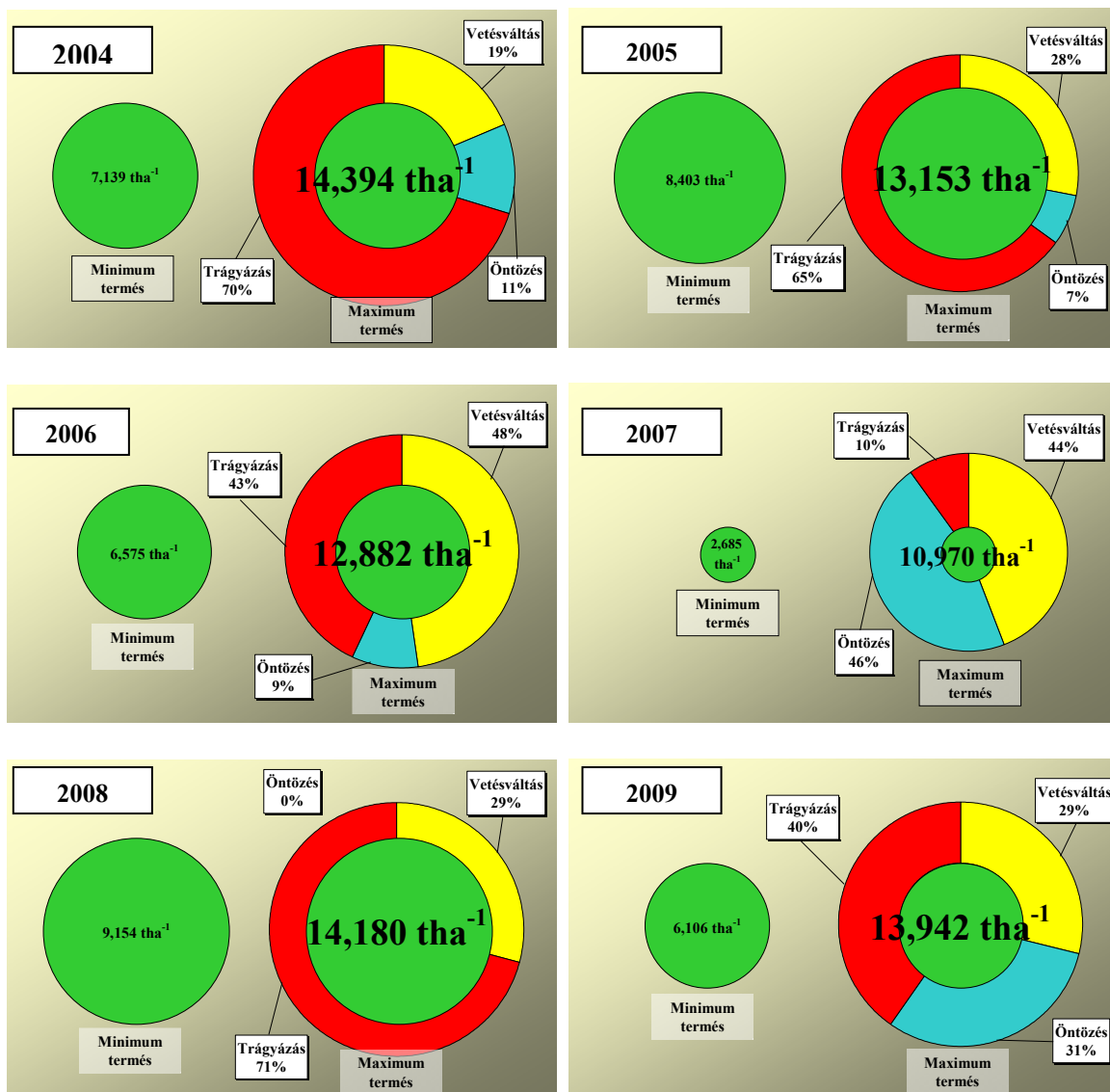
* az összevont értékelésben a hat éves időtartam adatai szerepelnek, így két évben az öntözés indokolt kihagyása miatt csak az öntözés utóhatást állt módunkban figyelembe venni

6. ábra. Különböző termést alakító tényezők szerepe a kukorica termésének alakulásában

(Debrecen-Látókép, 2004-2009)

A tényezők szerepének évenkénti értékelésénél jól látható, hogy a különböző évjáratok jelentős mértékben módosították az egyes faktorok súlyát (7. ábra). 2004-ben a kontroll termés nagysága (öntözetlen körülmények között monokultúrában) $7,139 \text{ t ha}^{-1}$ volt, mely az

alkalmazott agrotechnikai tényezők hatására 14,394 t ha⁻¹-ra növekedett. Legnagyobb súlyú volt a trágyázás (70 %=5,117 t ha⁻¹). Az öntözés és vetésváltás viszonylag kis mértékű hatása (11 %=0,790 t ha⁻¹, illetve 19 %=1,348 t ha⁻¹), elsősorban annak köszönhető, hogy a 2004. év kiegyenlített vízellátottsággal jellemezhető, mely a trágyázás hatékonyságát jelentős mértékben növelni tudta. 2005-ben a kontroll termés nagysága 8,403 t ha⁻¹ volt, mely a legkedvezőbb tényezőkombinációk hatására 13,153 t ha⁻¹-ra növekedett. A hasonló időjárási körülmények következtében szintén a trágyázás domináns hatása mutatkozott meg (65 %=3,098 t ha⁻¹). A vetésváltás szerepe ebben az évben növekedett (28 %=1,345 t ha⁻¹), ugyanakkor – annak ellenére, hogy öntözést nem végeztünk, viszont a statisztikai értékelés során a kísérletben öntözöttként szereplő parcellák terméseredményeit is figyelembe vettük – 7 % (0,307 t ha⁻¹) öntözéshatást állapítottunk meg. Ez tekinthető az öntözés utóhatásaként is, ugyanis ezek a parcellák az előző évben öntözve voltak. 2006-ban a kontroll termés nagysága 6,575 t ha⁻¹ a kísérletben mért maximális termés 12,882 t ha⁻¹ volt. A vizsgált tényezők közül közel azonos súllyal szerepelt a vetésváltás (48 %=2,994 t ha⁻¹) és a trágyázás (43 %=2,731 t ha⁻¹). Az öntözés szerepe ebben az évben mérsékelte volt (9 %=0,582 t ha⁻¹), ami annak köszönhető, hogy az öntözés befejezése után rövid időn belül nagy mennyiségű csapadék hullott, amely így az öntözés szerepét jelentős mértékben csökkentette. A 2007. évben az extrém száraz körülmények következtében sajátosan alakult a vizsgált tényezők termésre gyakorolt hatása. A kontroll termés nagysága 2,685 t ha⁻¹ volt, ami a legjobb kezelés esetében 10,970 t ha⁻¹-ra növekedett. Az eddigiekkel ellentétben legkisebb szerepe a trágyázásnak volt (10 %=0,826 t ha⁻¹), ugyanakkor az öntözés és a vetésváltás közel azonos értékekkel jellemezhető (46 %=3,810 t ha⁻¹, illetve 44 %=3,648 t ha⁻¹). Ezek az értékek alátámasztják a kijuttatott trágyaadagok víz nélküli hatékonyság veszteségének jelentőségét, illetve a vetésváltás felértékelődését stressz körülmények között. A kiváló vízellátottsággal jellemezhető 2008. évben igen magas kontroll termést mértünk (9,154 t ha⁻¹), mely az optimális kezeléskombináció esetén 14,180 t ha⁻¹ értékre növekedett. A kedvező vízellátottságnak köszönhetően öntözést nem alkalmaztunk, a statisztikai értékelés során is minimális hatást mutattunk ki (0,002 t ha⁻¹). Legnagyobb szerepe a trágyázásnak volt (71 %=3,553 t ha⁻¹), míg a vetésváltás szerepe mérsékeltebb (29 %=1,470 t ha⁻¹) volt. 2009-ben a kontroll termés 6,106 t ha⁻¹, a maximális termés nagysága pedig 13,942 t ha⁻¹ volt. Az öntözés szerepe ebben az ellentmondásos vízellátottsággal jellemezhető évben is megmutatkozott (31 %=2,405 t ha⁻¹). A trágyázás szerepe ugyan legnagyobb volt (40 %=3,181 t ha⁻¹), ettől a vetésváltás hatása kis mértékben maradt el (29 %=2,250 t ha⁻¹).



7. ábra. A különböző tényezők termésre gyakorolt hatásának évenkénti elemzése variancia komponensek felosztásával
(Debrecen-Látókép, 2004-2009)

5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A növekvő trágyaadagok hatására bekövetkezett abszolút (2,2-4,9 t ha⁻¹) és relatív (33-71 %) terméshozadék mind öntözött, mind öntözetlen körülmények között legnagyobb volt monokultúra esetében. Lényegesen mérsékeltebb trágyahatást lehetett megállapítani bi- és trikultúra vetésváltásban.
2. A szakszerű öntözéshez ismerni szükséges a termesztési év vízellátottsági viszonyait. Az öntözés hatását a termesztési mód jelentősen befolyásolja. Legnagyobb öntözéshatást száraz évjáratban, monokultúrás termesztésben kaptuk (5,9 t ha⁻¹, ill. 222 % terméshozadék).
3. Az agroökológiai trágyaoptimum-intervalluma monokultúrás termesztés esetén nőtt öntözés hatására. Bi- és trikultúra vetésváltás mérsékelt csökkenést eredményezett.
4. A tartamkísérletek eredményei azt bizonyítják, hogy a trágyázás hatását döntően a vetésváltás, az öntözés hatását döntően az évjárat határozta meg.
5. Az öntözés erőteljes hatást gyakorolt a trágyázás és a termés mennyiségi összefüggéseire, különösen száraz évjáratban (az öntözetlen kezelésben $r=-0,2354$, az öntözött kezelésben $r=0,7944$ értékek 2007. évben).
6. Az időjárási viszonyok közvetlen és közvetett módon hatnak a kukorica termésére. Legerősebb pozitív korrelációt a június-júliusi csapadék és a termés között lehetett megállapítani. A Pearson-féle korreláció analízis alapján a kukorica termés és a vegetációs periódus hőmérsékleti értékei között negatív összefüggés állapítható meg.
7. A tartamkísérletek a monokultúrás kukoricatermesztés termésre gyakorolt negatív és inputnövelő hatását bizonyították. A vizsgált periódusban a variancia komponensek felosztása alapján a termés kialakításában a trágyázás 38 %-kal, a vetésváltás 28 %-kal, az évjárat 19 %-kal, az öntözés 15 %-kal vett részt. A kontroll termésátlagot (6,7 t ha⁻¹) az agrotechnikai tényezők optimalizációjával közel kétszeresére (13,0 t ha⁻¹) lehetett növelni.

6. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A vetésváltás alapvető agrotechnikai elem a termesztési gyakorlatban. A kukorica maximális termése az évjáratok átlagában monokultúrában $9,2-10,3 \text{ t ha}^{-1}$, bikultúrában $11,1-12,0 \text{ t ha}^{-1}$, trikultúrában $11,0-11,9 \text{ t ha}^{-1}$ (öntözetlen-öntözve) volt. A helyes vetésváltással mérsékelhető a inputfelhasználás.
2. A kukorica agroökológiai trágyaoptimuma csernozjom talajon öntözetlen körülmények között monokultúrában $N_{150}P_{120}K_{120}$, bikultúrában $N_{140}P_{100}K_{100}$, trikultúrában $N_{130}P_{100}K_{100}$ volt. Az öntözés módosította a trágyaoptimumot ($N_{180}P_{140}K_{140}$, $N_{130}P_{100}K_{100}$, $N_{140}P_{110}K_{110}$).
3. A kísérleti eredmények bizonyították a monokultúrás kukoricatermesztés kedvezőtlen hatását. A gyakorlati kényszerítő feltételek miatt alkalmazott monokultúrában az öntözés és a trágyázás termésmenvelő hatása lényegesen nagyobb volt, mint bi- és trikultúrás vetésváltásban.
4. A kukorica ökológiailag érzékeny növény, a csapadék és a hőmérséklet jelentős mértékben befolyásolja a termés nagyságát. Aszályos évjáratban a trágyakezelések és vetésváltási modellek átlaga öntözetlenül $5,7 \text{ t ha}^{-1}$ volt, míg öntözve ez az érték $9,0 \text{ t ha}^{-1}$ -re növekedett. Kedvező vízellátottságú évben, a különböző vetésváltási modellek átlaga $12,9 \text{ t ha}^{-1}$ volt.
5. Intenzív technológiával (optimális vetésváltás, trágyázás, öntözés) a kukorica termése magas szinten ($11-14 \text{ t ha}^{-1}$) tartható csernozjom talajon. Bármely agrotechnikai elem optimum szint alatti biztosítása jelentős mértékű terméseszkökenést okozhat, melynek mértékét az adott évjárat nagy mértékben befolyásolhatja.

Az értekezés témakörében megjelent fontosabb publikációk listája

Tudományos közlemény idegen nyelvű, külföldi lektorált folyóiratban:

1. PEPÓ, P. - ZSOMBIK, L. - VAD, A. - BERÉNYI, S. - DÓKA, L. (2007): Agroecological and management factors with impact on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotation. Analele Universitatii Oradea, Facultatea de Protectia Mediului. XIII. 181-187.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

1. PEPÓ, P. - VAD, A. - BERÉNYI, S. (2006): Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. Cereal Research Communications. 34. 1. 621-624.
2. BERÉNYI, S. - VAD, A. - DÓKA, L. - PEPÓ, P. (2007): Effects of fertilization and cropyears on maize (*Zea mays* L.) yields in different crop rotations. Cereal Research Communications. 35. 2. 241-244.
3. VAD, A. - ZSOMBIK, L. - SZABÓ, A - PEPÓ, P. (2007): Critical crop management factors in sustainable maize (*Zea mays* L.) production. Cereal Research Communications. 35. 2. 1253-1256.
4. PEPÓ, P. - VAD, A. - BERÉNYI, S (2008): Effects of irrigation on yields of maiza (*Zea mays* L.) in different crop rotations. Cereal Research Communications. 36. 3. 735-738.
5. VAD, A. - DÓKA, L. (2009): Cropyear as abiotics stress effect on the yields of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotations. Cereal Research Communications. 37. 253-256.

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

1. PEPÓ P. - VAD A. - BERÉNYI S. (2005): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. Növénytermelés. 54. 4, 317-326.
2. PEPÓ P. - DÓKA L. - BERÉNYI S. - VAD A. (2008): Az öntözés hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére száraz évjáratban csernozjom talajon. Növénytermelés. 57. 2. 171-180.

Tudományos közlemény magyar nyelvű nem lektorált folyóiratban:

1. PEPÓ P. - VAD A. -BERÉNYI S. (2006): Néhány agrotechnikai tényező hatása a kukorica termésmennyiségére. Gyakorlati Agrofórum. Extra 13.. 33-35.
2. PEPÓ P. - ZSOMBIK L. - VAD A. - BERÉNYI S. (2007): A kritikus agrotechnikai tényezők elemzése a kukoricatermesztésben. Agrofórum Extra 17.. 5-6.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

1. PEPÓ, P. - ZSOMBIK, L. - SZABÓ, A. - VAD, A. - HORNOK, M. - BALOGH Á. (2006): New agronomic management models in wheat (*Triticum aestivum* L.) production. The 4th International Symposium „Natural Resources and Sustainable Development”. Oradea, 33-40.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

1. VAD A. - BERÉNYI S. - PEPÓ P. (2005): A trágyázás, öntözés és tőszám vizsgálata monokultúrás kukorica termesztésben. XI. ITF. Keszthely. 14.
2. VAD A. - PEPÓ P. (2009): Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére és termésbiztonságára. V. Növénytermesztési Tudományos Nap. Növénytermesztés: Gazdálkodás-Klíma-változás-Társadalom, Keszthely. Akadémiai Kiadó, 245-248.

A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

Tudományos közlemény magyar nyelvű nem lektorált folyóiratban:

1. PEPÓ P. - ZSOMBIK L. - VAD A. -SZABÓ A. (2005): Újabb adatok a kukorica hibridspecifikus gyomirtási technológiájához. Gyakorlati Agrofórum. Extra 12. 35-37.