

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**ÖKOLÓGIAI ÉS AGROTECHNIKAI TÉNYEZŐK
HATÁSA A NÖVÉNYTERMESZTÉSI TÉR
VÍZHÁZTARTÁSÁRA ÉS A KUKORICA
TERMÉSHOZAMÁRA**

Dóka Lajos Fülöp

Témavezető: Dr. Pepó Péter
egyetemi tanár



Debreceni Egyetem
Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és
Élelmiszertudományok Doktori Iskola

Debrecen

2010

1. BEVEZETÉS, A KUTATÁS ELŐZMÉNYEI

A multifunkcionális, fenntartható növénytermesztésben adott ökológiai feltételek mellett optimális termésmennyiséget, a piaci igényeknek megfelelő jó minőséget és stabil termésbiztonságot kívánunk realizálni. A termelés eredményességét, a termésmennyiséget és a biztonságot a biológiai alapok, az agrotechnikai elemek (vetésváltás, talajművelés, tápanyag- és vízellátás stb.) és az agroökológiai tényezők (talaj, időjárás) együttesen alakítják ki, határozzák meg. A három összetevőből az első kettő az ember által jelentős mértékben befolyásolható, míg az ökológiai tényezők – azon belül is az időjárás – meglehetősen kiszolgáltatottá teszi a termelést. A növénytermesztési térben az egyik legfontosabb elem a víz, amely többféle módon van jelen és többféle formában vesz részt a növények anyagcseréjében, nélküle nem működne az asszimiláció, a légzés, a párolgás és számos, a növényi szövetekben, sejtekben végbemenő különböző anyagszállítási és fiziológiai folyamat. A talaj vízkészlete a növények vízigényét (ezzel tápanyagfelvételét) biztosítja, amely a fiziológiai, szárazanyag- és termésképződési folyamatok alapját jelenti.

A növénytermesztési gyakorlatban a víznek kiemelkedő szerep jut azáltal is, hogy képes befolyásolni az egyes természeti és termesztéstechnológiai tényezők hatását, így a termelés hatékonyságát. Ezért a szakemberek számára fontosak a szélsőséges vízháztartási helyzetek, azok növényállományra gyakorolt hatásai. A cél ezen szélsőséges, a növénytermesztés tér szempontjából káros vízháztartási állapot kialakulásának megelőzése, illetve minél hamarabb történő megszüntetése.

A víz a talaj – növény – légkör rendszerben egy nagyon bonyolult és összetett körforgásban vesz részt. Ezt nevezzük hidrológiai ciklusnak, melyet az ember növénytermesztési tevékenysége során befolyásol, bizonyos elemeit módosítja, annak érdekében, hogy a három összetevőből álló rendszerben kedvező körülmények álljanak rendelkezésre a „végtermék”, a termés minőségének és mennyiségének növeléséhez. Ezek a törekvések a mezőgazdasági termelésen kívüli egyéb emberi tevékenységekkel egyetemben sok esetben károsan, kedvezőtlen irányban módosítják a hidrológiai ciklus egyes elemeit, ezáltal beláthatatlan, gyakran irreverzibilis következményeket okozva a környezet, ezen belül a növénytermesztési tér vízháztartási folyamataiban. A változások többnyire visszahatnak az ökológiai, agroökológiai rendszerekre, azok alrendszeire, rontva a mezőgazdasági termelés hatékonyságát, ezáltal az ebből élők jövedelmezőségi viszonyait.

Az évek óta emlegetett globális klímaváltozás napjainkra bizonyított tényré vált. Az utóbbi száz évben több, mint 0,7 Celsius-fokot emelkedett a

hőmérséklet. A felmelegedés nagyrészt az emberi tevékenység következménye, legalábbis a huszadik század közepe óta (HARE, 2009). A több éve megkezdődött „makroklimatikus” változás többek között hazánk klímáját is kimotozította a tipikus kontinentális éghajlat jellemzőiből. A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni. Az utóbbi 6 év időjárási jelenségei az előrejelzéseket igazolják. Nem csak a szárazabb vagy a csapadékosabb időszakok gyakoribbak, de egyre nagyobb a szélsőséges időjárási jelenségek előfordulási valószínűsége, illetve e jelenségek negatív hatásainak erőssége, akár egy éven vagy egy tenyészidőn belül is (KESZTHELYI, 2005; SÁRVÁRI, 2005; BIRKÁS, 2006; LÁNG et al. 2007; ANDA, 2008; POLYÁK, 2008; JOLÁNKAI és BIRKÁS, 2009).

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A doktori téma keretében különösen fontosnak tartottam a növénytermesztési tér vízháztartási folyamatainak sokoldalú vizsgálatát, elemzését, a folyamatok parametrizálását hazánk, különösen az ország keleti, alföldi területeinek, a Tiszántúlnak szélsőséges éghajlati-időjárási feltételei miatt. A vizsgálatokat a tájkörzet, a régió legnagyobb területen termesztett növényénél, a kukoricánál végeztem, melyet nemcsak jelentős vetésterülete, hanem a vízellátás, a növénytermesztési tér vízháztartása szempontjából kifejezett szenzibilitása, érzékenysége is indokol.

Az említett tényezőknek, időjárási, éghajlati hatásoknak, változásoknak, folyamatoknak megfelelően a következő vizsgálatokat tűztem ki célul:

- az agrotechnikai elemek közül a vetésváltás, a tápanyagellátás, az állománysűrűség, valamint az öntözés hatásainak vizsgálata;
- a talajnedvesség gravimetriás meghatározása, a kukorica, tenyészidején belüli, és kívüli időtartamára
- a talaj nedvességekészlete dinamikai változásának és az aktuális vízhiánynak a meghatározása;
- az egyes agrotechnikai elemeknek (vetésváltás, trágyázás, tőszám, öntözés) a talaj vízháztartására gyakorolt hatásainak elemzése;
- egzakt kapcsolatot kerestem a tenyészidőszak vízhiánya, az azt alakító meteorológiai, biológiai, agrotechnikai tényezők és a kukorica termésmennyisége, termésstabilitása között.

A kutatási eredmények felhasználásával a kukorica terméseredménye, termésbiztonsága javítható a gyakorlatban, javaslatok tehetők a megfelelő termesztéstechnológiák kialakítására mind száraz, mind öntözéses gazdálkodásban.

3. A KUTATÁS MÓDSZEREI

3.1. A vizsgálatok helye, a kísérleti terület jellemzése

A vizsgálatokat †Dr. Ruzsányi László professzor által 1983-ban beállított, 2004-től Dr. Pepó Péter professzor által vezetett polifaktoriális tartamkísérletben végeztük 2007., 2008. és 2009. évben a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Növénytudományi Intézetének Látóképi Kísérleti Telepén, mely a hajdúsági löszháton, Debrecentől kb. 15 km-re helyezkedik el a 33. számú főút mellett.

A kísérleti terület talaja löszön képződött, mély humuszcserétegű, jó kultúrállapotú, középkötött (Arany-féle kötöttségi száma 43), talajfizikailag a vályog kategóriába sorolható alföldi mészlepedékes csernozjom talaj.

A termőréteg 80-90 cm vastagságú, amelyből 40-50 cm az egyenletesen humuszosodott réteg. Átlagos humusztartalom 2,76 %. A szénsavas mész a szelvényben az átmeneti szinten 75 cm-es mélységben jelenik meg, de általában lepedék formájában is megtalálható a talajszemcséken, ebben a rétegben a CaCO_3 tartalom 10-13 % között alakul. A művelt réteg pH-ja (KCl) 6,3-6,5 közötti.

A kísérleti terület N-ellátottsága közepes, az össznitrogén a felső 50 cm-es rétegben 0,12-0,15 %.

Az ammónium-laktátos módszerrel meghatározott P_2O_5 és K_2O tartalom alapján a terület talajának foszforellátottsága meglehetősen változatos, a minták átlagában közepesnek minősíthető (133 mg kg^{-1}). Kálium ellátottsága a jó kategóriába sorolható, a káliumtartalom, értéke 240 mg kg^{-1} .

1. táblázat. A kísérleti terület talajának vízgazdálkodását jellemző mutatók (Debrecen, 1983, Martin B. – Győri Z. vizsgálati eredményei alapján)

Talaj-réteg cm	Térfogat-tömeg Tt g/cm^3	Pórus térfogat P %	Kapilláris-gravitációs pórustér %	Gravitációs pórustér + levegőzárvány Pg+I %	Kapilláris pórustér %	Kapilláris víz-kapacitás térf.%	Minimális víz-kapacitás VK _{min} %	Holtvíz-tartalom HV %
5-25	1,34	49,6	17,9	0,9	30,8	31,7	30,8	15,55
27-33	1,53	42,2	3,9	1,2	37,1	38,3	37,1	15,70
47-53	1,31	50,5	12,0	3,1	35,4	38,5	35,4	14,75
72-78	1,45	45,4	6,4	3,3	35,7	39,0	35,7	11,13
97-103	1,57	40,8	3,7	1,5	35,6	37,1	35,6	9,38
122-128	1,6	39,8	2,6	1,1	36,1	37,2	36,1	9,03
147-153	1,65	37,7	1,3	0	36,4	36,4	36,4	8,50

A kísérleti terület talaja a Várallyay-féle osztályozási rendszer szerint a IV. vízgazdálkodási csoportba sorolható, ami közepes vízbefogadó és jó víztartó képességet jelent. A diszponibilis víz a VK-nak mintegy 50 %-át teszi ki, a minimális (szántóföldi) vízkapacitás (VK_{min}) érték a 0-100 cm-es rétegben 275 mm, a 100-200 cm talajszelvényben 265 mm. A minimális vízkapacitás 33,65-46 %, a holtvíztartalom (HV) 8,5-15,7 %,

térfogatszázalékban kifejezve, a talaj 0-200 centiméteres szelvényében. A talajvíz mélysége 3-5 m, még csapadékos évjáratban sem emelkedik 2 m fölé.

3.2. A kísérlet beállítása, a végzett vizsgálatok bemutatása

A kísérlet elrendezését, a parcellák méretét az 1. számú melléklet tartalmazza. A kísérlet parcelláinak mérete 9,2x5 m, 46 m².

A kísérlet vizsgált tényezői: A tartamkísérlet egy négy tényezős kísérlet, ahol a fő blokkokat az egyes vetésváltási változatok képezik. A vetésváltásokon belüli altényező az öntözés, melyen belül különböztetjük meg az egyes állománysűrűségeket. Az tőszámbeállítások altényezőit pedig az egyes műtrágyakezelések jelentik:

„A” tényező: vetésváltás

Kezelések: a₁ monokultúra
a₂ bikultúra (kukorica – búza)
a₃ trikultúra (kukorica – borsó – búza)

„B” tényező: öntözés

Kezelések: b₁ nem öntözött (Ö₁)
b₂ öntözött (Ö₃)

„C” tényező: állománysűrűség

Kezelések: c₁ 40000 tő ha⁻¹
c₂ 60000 tő ha⁻¹
c₃ 80000 tő ha⁻¹

„D” tényező: műtrágyázás

A kísérletben öt tápanyagszinttel dolgoztunk (2. táblázat).

2. táblázat. A kísérletben alkalmazott műtrágya kezelések

	Kontroll	1 mtr. kezelés	2 mtr. kezelés	3 mtr. kezelés	4 mtr. kezelés
	kg hatóanyag ha ⁻¹				
Nitrogén	0	60	120	180	240
Foszfór	0	45	90	135	180
Kálium	0	45	90	135	180

Az öntözött kezelésben (Ö₃) az alábbi öntözővíz mennyiségeket juttattuk ki, a következő időpontokban:

2007. év: 05.04. – 50 mm öntözővíz
05.23. – 50 mm öntözővíz
06.04. – 50 mm öntözővíz
06.30. – 50 mm öntözővíz

2008. év: a kukorica számára kedvező tenyészidőbeli csapadékeloszlás miatt nem volt öntözés.

2009. év: 05.04. – 50 mm öntözővíz
05.23. – 50 mm öntözővíz

Az öntözés Valmont lineár öntözőberendezéssel történt.

Az állománysűrűség 40000 tő ha⁻¹, 60000 tő ha⁻¹ és 80000 tő ha⁻¹ volt. A vizsgálatokat a 60000 tő ha⁻¹ és 80000 tő ha⁻¹ tőszámnál végeztük.

A talajművelés, a növényvédelem és a betakarítás egységesen történt. Az alkalmazott hibrid a Reseda (PR37M81) volt.

A vízforgalom vizsgálatára mindhárom évben 6 alkalommal vettünk talajmintát 200 cm-ig 20 cm rétegenként, mono-, bi- és trikultúrából, 60000 tő ha⁻¹, 80000 tő ha⁻¹ állománysűrűségű parcellákból, Ö₁ és Ö₃ öntözési változatokból. Az első mintavétel a tenyészidőszak kezdete, a vetés előtt, míg a hatodik a kukorica betakarítása után, tarlóból történt, a közbülső négy pedig a kukorica főbb fenofázisaiban (3-4 leveles állapot, címerhánnyás, megtermékenyülés, érés) került vételezésre.

A kísérleti években a mintavételi időpontok a következők voltak:

2007. év	2008. év	2009. év
március 20.	április 03.	április 03.
április 27.	május 09.	április 24.
június 04.	június 25.	május 26.
július 04.	július 18.	július 01.
augusztus 16.	szeptember 10.	augusztus 31.
október 05.	október 02.	szeptember 29.

Megmértük a talajminták mintavétele utáni nedves tömegét, ezután szárítószekrényben 105 °C-on súlyállandóságig szárítottuk. A száraz mintákat visszamértük a nedves és száraz tömeg különbsége adta a talajnedvességtartalmat, amit tömegszázalékban fejeztünk ki. Az így kapott eredményeket térfogatszázalékban is kifejeztük az adott talajréteg térfogattömegének felhasználásával.

$$V_h = (VK_{sz} - V_t) \times T_t, \text{ ahol :}$$

V_h – vízhiány

VK_{sz} – szántóföldi vízkapacitás

V_t – a talajnedvesség térfogatszázalékos értéke

T_t – a talaj térfogattömege.

A számításokat a mészlepedékes csernozjom talaj 200 centiméteres rétegében végeztük, 20 centiméteres rétegenként, azaz egy parcellában a talaj 2 méteres mélységéig 10 eredményt kaptunk adott vízháztartási állapotról.

Ezzel párhuzamosan a kukoricaállomány termés mennyiségének mérését is elvégeztük a betakarítás alkalmával mindhárom vetésváltásban, mindkét öntözési változatban, mindkét tőszámnál és mindhárom tápanyagkezelésben. Minden parcella terméséből mintát vettünk, melyet lemértünk, majd szárítószekrényben tömegállandóságig történő szárítás után visszamértünk, így meghatározva az egyes parcellákból származó minták szemnedvességét. A parcellánként lemerő termésadatokat standardizáltuk,

azaz egységesen 14 %-os nedvességtartalomnál, 1 hektáros termőterületre fejeztük ki az egyes kezelések által meghatározott termésmennyiséget. A dolgozat elkészítéséhez, az táblázatok, ábrák, diagramok szerkesztéshez *Microsoft Office Word®* és *Excel®* programokat használtam. Az adatok statisztikai feldolgozása *SPSS for Windows 13.0* programmal történt.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELESLŐK

4.1. A vizsgálati évek időjárásának értékelése a kukorica vízháztartása szempontjából

Összehasonlítottam a kukorica tenyészidőszakának havi csapadéértékeit a 30 éves átlagértékekkel a 2007., 2008. és a 2009. évben (3. táblázat). A vizsgált három évből a 2007. és a 2009. évek szárazak voltak, ez jól látszik a táblázatban a 30 éves átlagértékektől való eltérések mértékén. 2007-ben a tenyészidőszak vége felé, augusztusban és szeptemberben az eltérés pozitív irányba fordult, így az előző hónapok csapadékhánya eredményesen pótlódott, az összesített tenyészidőbeli csapadékmennyiség 61,3 mm-rel maradt el a 30 éves átlagtól. A 2009. év száraz volta ellenére merőben más alakulást mutat. Június hónapot kivéve a tenyészidőszak minden hónapjában kevesebb csapadék hullott, mint a 30 éves átlag. Ez megmutatkozik a 6 hónap összesített csapadékmennyiségén is (176,3 mm az eltérés a 30 éves átlaghoz viszonyítva).

3. táblázat. A kukorica tenyészidőszakának havi csapadéértékei és a 30 éves átlagtól való eltérések (Debrecen, 2007., 2008., 2009.)

	2007		2008		2009		30 éves átlag
	érték (mm)	eltérés (mm)	érték (mm)	eltérés (mm)	érték (mm)	eltérés (mm)	
Április	3,6	-38,8	74,9	32,5	9,9	-32,5	42,4
Május	54	-4,8	47,6	-11,2	20,1	-38,7	58,8
Június	22,8	-56,7	140,1	60,6	96,6	17,1	79,5
Július	39,7	-26	144,9	79,2	9,2	-56,5	65,7
Augusztus	77,6	16,9	34,2	-26,5	11,3	-49,4	60,7
Szeptember	86,1	48,1	42,2	4,2	21,7	-16,3	38
Összesen	283,8	-61,3	483,9	138,8	168,8	-176,3	345,1
Hőm. átlag °C	18,8	2,0	17,4	0,6	19,5	2,7	16,8
Max. vízhiány (mm)	336		227		314		-

A 2008. tenyészév – ellentétben a másik kettővel – igen csapadékos volt. A tenyészidőszakban összesen 483,9 mm csapadék hullott, ami 138,8 mme-rel több a 30 éves átlagértéktől. A 30 éves átlagtól egyedül májusban és augusztusban esett kevesebb eső, a többi hónapban jóval (33-79 mm-rel) több csapadék volt, mint az elmúlt 30 év átlaga. A szeptemberi 42,2 mm közelítette meg egyedül a 30 éves átlagot (38 mm), de ez már nem volt jelentős befolyásoló hatással a kukorica fejlődésére.

A táblázat legutolsó sora a tenyészidőszak legnagyobb (maximális) vízhiányértékeit tartalmazza, melyeket az öszszvizsgálati eredményekből számítottam. Az értékek jól reprezentálják az egyes évjáratok jellegét, 2007.

aszályos volta következtében a maximális vízhiányértékek is itt voltak a legmagasabbak. Ezzel szemben a csapadékos 2008. évben több mint 100 mm-rel kedvezőbb értékeket kaptunk. A 2009. évjárat vízhiányértéke a 2007. évhez hasonlóan alakult.

4.2. A talajrétegek nedvességtartalmának változása a vizsgálati években

A kukorica gyökértömegének nagy része – 70-80 %-a – a felső 100-120 cm rétegig hatol le, de ettől mélyebb rétegekben is találkozunk kukoricagyökérrel. Ezért érdemesnek találtuk erre irányuló vizsgálatok végzését, azt, hogy az évjárat, valamint az egyes agrotechnikai elemek milyen hatást gyakorolnak a növényre, annak vízfelhasználására, ezáltal a talaj víztartalmára.

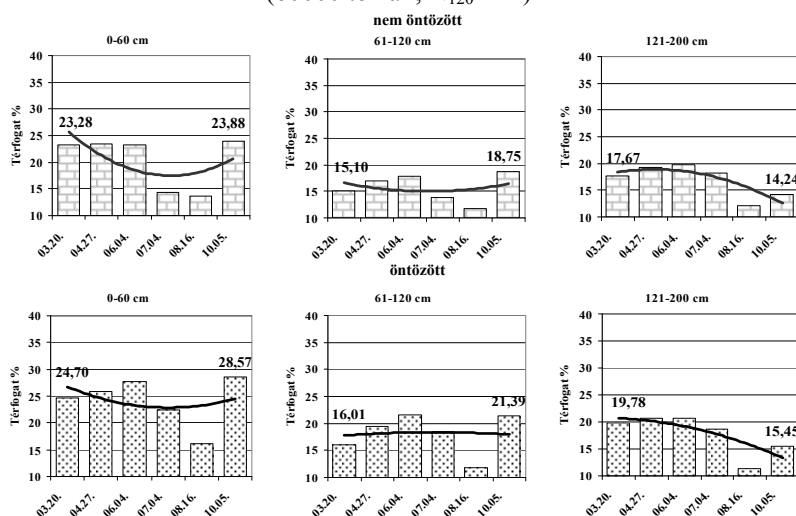
Megvizsgáltuk az egyes vetésváltási rendszerek nem öntözött ($\ddot{O}_1$) és öntözött ($\ddot{O}_3$) kezeléseiben a talaj vízkészletének alakulását 200 cm talajszelvényben, 2007., 2008., 2009. tenyészévben (1., 2., 3. ábra). Az ábrák a hat mintavételi időpont talajnedvességét mutatják térfogatszázalékban, monokultúrában, 60000 tő ha⁻¹ állománysűrűség és N₁₂₀+PK trágyakezelés mellett. Az első időpont a kukorica vegetációs periódusát közvetlenül megelőző, míg az utolsó a betakarítást követő nedvességi állapotot tükrözi. A közbülső négy mintavétel a kukorica főbb fenofázisaiban történt. A mértékadó talajréteget a kukorica gyökerezési mélységének megfelelően három szintre osztottuk: 0-60 cm - a kukorica gyökértömegének döntő része itt helyezkedik el; 61-120 cm – a gyökértömeg egy része, megközelítőleg egyharmada a növény növekedésével párhuzamosan lehatol ebbe a rétegbe is; 121-200 cm – a kukorica gyökere szempontjából nem meghatározó talajréteg, viszont a talajszelvény vízforgalmát tekintve mindenképpen fontos.

A vizsgált talajszelvény vízforgalmában a három szint nedvességgészletének alakulását érdemes tanulmányozni. Először a nem öntözött parcellák talajának vízforgalmát vizsgáltam. 2007-ben a legfelső, 0-60 cm talajréteg vízvesztése – kisebb ingadozásokkal – kismértékű, de folyamatos, minden tápanyagszinten és mindkét tőszám esetében. Ez a kismértékű, folyamatos csökkenés júliusban felgyorsult és a talajnedvesség augusztusra elérte minimumát (12-16 tf %). Az utolsó mintavételi időpontban az értékek kismértékű növekedése a koraőszi esőzéseknek tulajdonítható, illetve annak, hogy a kukoricaállomány életfolyamatainak intenzitása augusztus végétől jelentősen csökkent, asszimilációs, transzspirációs felülete jóval kisebb volt és a szembeépülési folyamatok is lelassultak, be is fejeződtek.

A 61-120 cm talajszintben a felső réteghez hasonló folyamat zajlott le. A tenyészidőszak közepén júliusban, a virágzás időszakában a gyökértömeg elérte ezt a talajréteget, ez megmutatkozik a nedvességi értékekben is (12-

16 tf %). A tenyészidőszak végén itt is visszanedvesedés figyelhető meg (24-28 tf %), de ez értékben, volumenben elmarad a felső szint értékeitől. A legalsó (121-200 cm) talajszelemben kisebb ingadozásokkal csökkenő tendencia állapítható meg. Ez azzal magyarázható, hogy a felsőbb talajrétegek erőteljes vízvesztése a júliusi-augusztusi időszakban innen pótlódott a vízgőz-, páramozgás, kapilláris vízemelés hatására. Részben ennek tulajdonítható a középső (61-120 cm) talajréteg tenyészidőszak végére történő kismértékű visszanedvesedése is (14-17 tf %). Az öntözött kezeléseknél a felső 0-60 cm réteg nedvességkészségének alakulása a nem öntözött parcellákét követi. Viszont az értékek magasabb szinten maradtak az egész tenyészidőszak során (átlagosan 4-5 tf %-kal nagyobbak). A mélységet tekintve az öntözővíz nedvességtartalmat növelő hatása a legfelső rétegben érzékelhető a legintenzívebben, de jótékony hatása a középső rétegben is megmutatkozik, az augusztusi minimum értékek az öntözött kezeléseknél 2-3 %-kal szignifikánsan nagyobb a nem öntözöttekhez viszonyítva. A legalsó talajrétegben az öntözésnek talajnedvességet növelő hatása már nem mutatható ki (1. ábra).

1. ábra. A talaj nedvességtartalma (tf%) monokultúrában a 2007. évben (60000 tó ha⁻¹, N₁₂₀+PK)

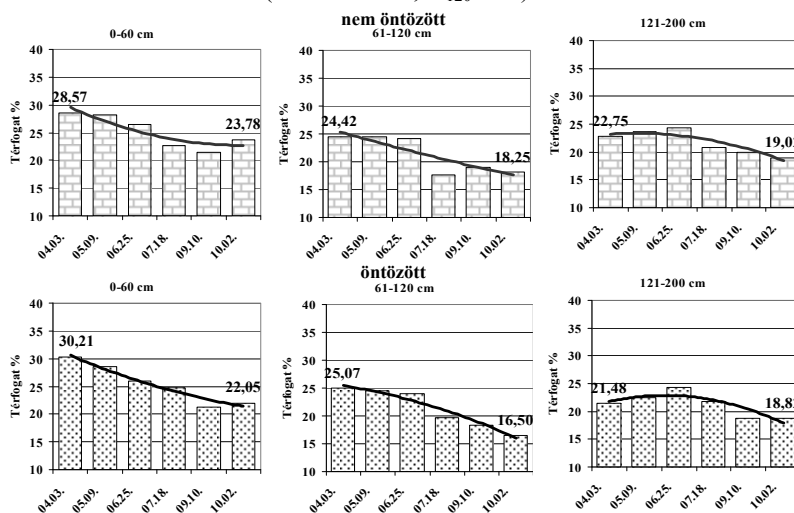


Ha 2008-ban vizsgáljuk (2. ábra) a három vetésváltási rendszer nem öntözött (Ö₁) és öntözött (Ö₃) változataiban a talaj vízkészletének alakulását a 200 cm talajszelemben, megállapíthatjuk, hogy a talaj vízkészlete mindhárom vetésváltási rendszerben kedvezően alakult a kukorica számára (18-30 tf %), a holtvíz tartalom értékét csak nyár végére közelítette meg (17-

24 tf %) bizonyos talajrétegekben. Már a kukorica vetése előtti időszakban kedvezően alakult a talaj nedvességtartalma (22-31 tf %), mely a növény számára optimális vízellátottsági feltételeket teremtett a keléshez és a kezdeti fejlődéshez. A kukorica növekedéséhez optimális, az egyes fenológiai szakaszok vízigényének megfelelő vízellátottságú évet a számszerűsített eredmények is alátámasztják, a talajnedvességi értékek egész tenyészidőszakban nagyobbak voltak a 2007. szélsőségesen száraz, aszályos évéhez viszonyítva (2007-ben a tenyészidőszakban döntően 11 és 18 tf fogatszázaléknyi nedvességet mértünk, 2008-ban ezek az értékek 18 és 27 tf % között alakultak). A tenyészidőszak végére viszont a gyökérzónában (0-60 cm) a vízkészlet megközelítette a holtvíz értéket (16-23 tf %), viszont ez az állapot már nem befolyásolta kedvezőtlenül az állomány fejlődését, a termésképződési, szemtelítődési folyamatokat, azaz a betakarított termés mennyiségét.

Dinamikáját tekintve a 0-60 cm réteg vízvesztése nagyon kismértékű csökkenő trendet mutat. A szemtelítődési időszakban tapasztalható 3-4 tf %-os hirtelen nedvességszökkenést a nagy növényi vegetatív és generatív tömeg vízigénye okozta. A 2008. év jó csapadékeloszlású évjárat volt, a betakarítás környékére a felső rétegben a talaj vízkészlete újra gyarapodásnak indult.

2. ábra. A talaj nedvességtartalma (tf%) monokultúrában a 2008. évben (60000 tó ha⁻¹, N₁₂₀+PK)



A 61-120 cm rétegben ugyanez a tendencia figyelhető meg, azzal a különbséggel, hogy az utolsó mintavétel eredménye nem mutat növekedést,

a nedvességtartalom maradt az augusztus végi – szeptember eleji szinten (16-21 tf %), mivel ez a réteg is hozzájárult – a természetes csapadék mellett – a felső szint feltöltődéséhez, a talajban lezajló különböző vízmozgási folyamatok következtében.

A 121-200 cm réteg tendenciájában a felette lévő két réteg nedvességének alakulását mutatja, kivéve a tenyészidőszak végét, amikor a felsőbb, relatíve szárazabb rétegek felé pótolta a vizet, így a 61-120 cm réteg nedvességtartalmának páramozgással, kapilláris vízemeléssel történő gyarapítása miatt az értékek stagnáltak.

Mivel 2008-ban nem volt szükség öntözésre a kedvező természetes csapadéknak köszönhetően, a nem öntözött és az öntözött parcellák nedvességértékei között szignifikáns különbség nem állapítható meg.

2009. tenyészévben (3. ábra) a kezdő, a kukorica vetését megelőző talajnedvesség-készlet a 2007. és 2008. évihez hasonlóan alakult (24-29 tf %), mindhárom vetésváltásban, tápanyagkezelésben, mindkét öntözési változatban és mind a két tőszám esetében.

A 0-60 cm rétegben a nedvességekészlet kisebb ingadozásokkal csökkent a tenyészidőszak első felében. A júniusi, 100 mm-től is több csapadék hatására a virágzás időszakában még elegendő nedvesség állt az állomány rendelkezésére. Augusztusra 8-9 tf %-os csökkenés következett be, ez jelenti a legkisebb értéket, ugyanis a tenyészidőszak végére 2-3 tf %-os visszanedvesedés következett be az alsóbb szintek felfelé áramló nedvességéből adódóan.

A 61-120 cm réteg trendjében követi a felette lévő szelvény nedvességi dinamikáját. Itt az állomány betakarítása körüli időszakban viszont nem növekedtek szignifikánsan, inkább stagnáltak az eredmények (13-15 tf %), mivel a felette lévő talajréteg vízkészletét táplálta, az alatta lévő rétegből pedig a szárazság következtében nem tudott pótlódni a felfelé mozgó nedvesség.

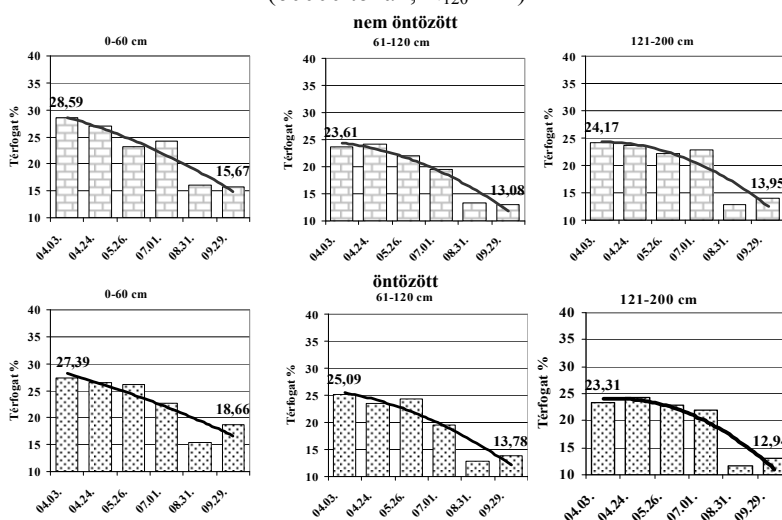
Ez a tendencia állapítható meg a 121-200 cm talajréteg nedvességének időbeli alakulásában is.

A 2008. évben az öntözés kedvező utóhatását lehet megállapítani, az értékek nagyobb talajnedvességről tanúskodnak nemcsak a felső rétegben, hanem itt a második gyökérzónában is.

Az állománysűrűség vizsgálataink alapján mindegyik rétegben csak kismértékben, de szignifikánsan (2-3 tf %) befolyásolja a talaj nedvességekészletét, kivétel ez alól augusztus, amikor a kukorica legkritikusabb vízigényű időszakában a 0-60 és 61-120 cm réteget vizsgálva nem tudtunk szignifikáns különbséget megállapítani. Összességében megállapítható, hogy a nagyobb tőszám csak tendencia jelleggel növeli a vízfogyasztást.

A tápanyagellátás hatása évről-évre függetlenül érvényesült, valamennyi talajszintnél van szignifikáns különbség az egyes műtrágyadózisok befolyásolta talajnedvesség értékek között. A nagyon száraz és a részben száraz évszakokban a kisebb növénytömeg következtében a különbség is kisebb mértékű, míg 2008-ban, jó vízellátottság mellett sokkal nagyobb mértékben csökkent a talajnedvesség a növekvő tápanyagdózisok hatására. Ez is bizonyítja, hogy ha a növényállomány igényeinek megfelelően kellő vízmennyiség áll rendelkezésre a talajban, a nagyobb trágyadagok fokozottabb vízfelvételt is eredményeznek, a növények „pazarlóan” bánnak a vízzel.

3. ábra. A talaj nedvességtartalma (tf%) monokultúrában a 2009. évben (60000 tőha⁻¹, N₁₂₀+PK)



Ha a három év talajnedvességekészletének alakulását együttesen vizsgáljuk, akkor megállapítható, hogy a felső, 0-60 cm réteg talajnedvességének változása a legnagyobb mértékű a tenyészidőszak során. Az ábrákban a diagramok és a trendvonalak jól jelzik, hogy ebben a rétegben van a legnagyobb hatása az öntözővíznek és a csapadék is itt növeli a legnagyobb mértékben a talajnedvesség térfogatszázalékos értékeit, illetve a kukorica nagy gyökértömegének következtében a vízfelvétel is itt a legintenzívebb. A 61-120 cm talajréteg talajnedvesség-készlet alakulása kiegyenlítettebb, a víztartalom csökkenése nem olyan mérvű, mint a felső szintben. A 121-200 cm réteg közvetett úton, a kapilláris vízemelés révén vesz részt a talaj vízmozgási folyamataiban, a kukoricaállomány vízellátásában, így a talajnedvességekészlet-változás a trendvonalak és a diagram oszlopai alapján

itt a legkiegyenlítettebb. Nagy csökkenés augusztusban, a kukorica szemtelítődésének időszakában állapítható meg, amikor a felette lévő talajréteg kiszáradásával ebből a szintből történik a talajnedvesség mozgása, pótlódása.

A három vizsgálati év tendenciájában megmutatkozik a csernozjom talaj jó vízháztartási tulajdonsága, jó víztartó, jó vízáteresztő képessége. Ennek következtében a klimatikus hatásokat képes tompítani, a növények számára a kedvezőtlen vízháztartási körülményeket bizonyos szintig kompenzálni tudja.

A szélsőséges klíma hatására a talaj felső rétegében drasztikus hatások figyelhetők meg a növényállomány növekedésével párhuzamosan a 0-60 cm talajrétegben. Mindhárom évjáratban a tenyészidőszak elejétől a nedvességhészlet kisebb ingadozásokkal csökken, a kukorica virágzásának, termésépződésének időszakában elér egy mélypontot, majd szeptemberben az akkor lehulló csapadék mennyiségétől, eloszlásától függően növekszik.

A második réteg (61-120 cm) áprilistól július elejéig csökkenő trendet mutat. Július elejétől augusztus közepéig - végéig a kukorica gyökere elér ebbe a zónába, ennek következtében ez a talajréteg drasztikusan veszít nedvességéből. A csökkenés mértéke az évjárat vízellátottságától függ. 2007-ben és 2009-ben a vízvesztés nagymértékű 8-10 tf %, míg 2008-ban ez az érték csupán 3-4 tf %.

A 121-200 cm réteg a három réteg közül e legkevésbé befolyásolt a növényállomány vízfogyasztása, illetve a csapadék, vagy öntözés hatásától. Ennek a szintnek a vízkészletét leginkább az őszi-téli félév csapadékának „feltöltő” mértéke határozza meg. A vizsgált három évben a feltöltöttségtől függően 20-24 tf %-ról indulnak az értékek, melyek trendjükben kis csökkenést mutatnak a tenyészidőszak előrehaladtával, és drasztikus csökkenés itt is július és augusztus hónapban következik be. A vízgőzmozgás és a kapilláris vízmozgás következtében ez a réteg táplálja a felette lévő 61-120 cm zónát. Két évjáratban az öntözés hatását vizsgálva megállapítható, hogy 2007. és 2009. évben főként a 0-60 cm gyökérzónában fejti ki hatását, megközelítőleg vízkapacitásig feltöltötte a talaj felső rétegét, ezáltal kedvező víz- és tápanyagellátási körülményeket teremtve a növényállomány számára. Amint az öntözést abbahagytuk, és a légköri csapadéokra hagytuk a talaj nedvességtartalma elkezdett csökkenni. A 61-120 cm réteg nedvességértékeit tekintve nagyon hasonlít a nem öntözött parcellák eredményeihez, ami ugyancsak azt a következtetést támasztja alá, hogy az öntözésnek leginkább a felső rétegben van nedvességhészletet gyarapító hatása. Nagyon száraz évjáratban (2007) a 0-60 cm réteg alatt is jelenik meg a kiadott öntözővíz mennyiségéből, 61-120 cm rétegben

erőteljesebben, míg az alsó rétegben nagyon mérsékelt mértékben (1-3 tf %).

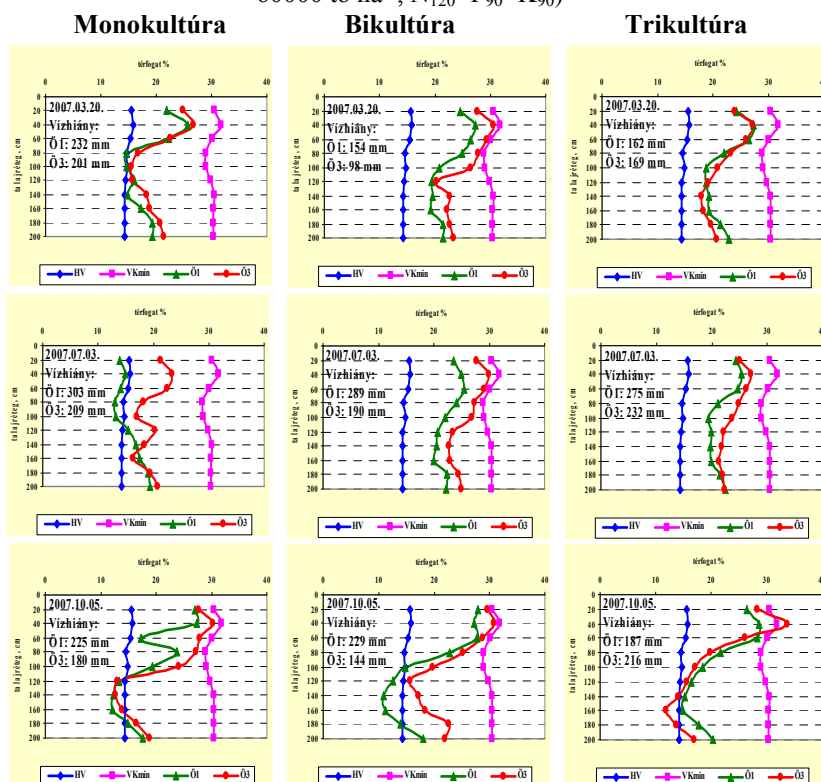
Hasonló trendeket, tendenciákat állapítottunk meg a másik két vetésváltási rendszer, a bi- és trikultúra talajnedvességekészletének alakulásában is. A különbség a monokultúrák térfogatszázalékos értékekhez viszonyítva, hogy bi- és trikultúrában már az induló vízkészlet is 3-4 tf%-kal nagyobb értékeket mutat, és ez a tendencia a teljes tenyészidőszakban megmarad, mind a nem öntözött, mind az öntözött kezelésekben.

4.3. A mértékadó talajszelvény (0-200 cm) nedvességekészletének dinamikai változása

Az egyes rétegek nedvességtartalmának alakulása mellett érdemes megvizsgálni a teljes, 0-200 cm talajszelvény nedvességekészletének tenyészidőbeli alakulását is. Összehasonlítottuk az egyes vetésváltási rendszerek nem öntözött ($\ddot{O}_1$) és öntözött ($\ddot{O}_3$) parcelláiban a talaj vízkészletének alakulását a 0-200 cm talajszelvényben, 2007., 2008. és 2009. évben, a gyakorlatban alkalmazott állománysűrűség (60000 tő ha^{-1}) és tápanyagellátottsági szint ($N_{120+} \text{ PK}$) mellett (4., 5. és 6. ábra). Az elemzésben a tenyészidőszak kezdeti talajnedvességi állapota, másodikként a kukorica virágzás-termékenyüléskori fenofázisa, amikor a vízfelvétel a legnagyobb, illetve a betakarítás utáni – tenyészidőszakot követő, az állomány lekerülése után visszamaradt – vízkészlet alakulása szerepel, az egyes diagramokon a holtvíztartalom és a minimális vízkapacitás görbék a csernozjom talajra jellemző értékeket mutatják. Az eredmények azt mutatják, hogy a talaj vízkészlete mindhárom vetésváltási rendszerben, és mindhárom évjárat esetében, a nem öntözött parcellákban a tenyészidőszak végére jelentősen lecsökkent (2007-ben 10-14 tf%, 2009-ben 11-17 tf%).

A nem öntözött parcellák esetében a vízkészlet csökkenése már július elejére megközelítette a növények számára nem hasznosítható (holtvíz) mennyiségét monokultúrában (2007-ben 13-15 tf%). Az öntözéssel ez az állapot nem, vagy csak kisebb mértékben következett be (14-18 tf%) (4., 6. ábra).

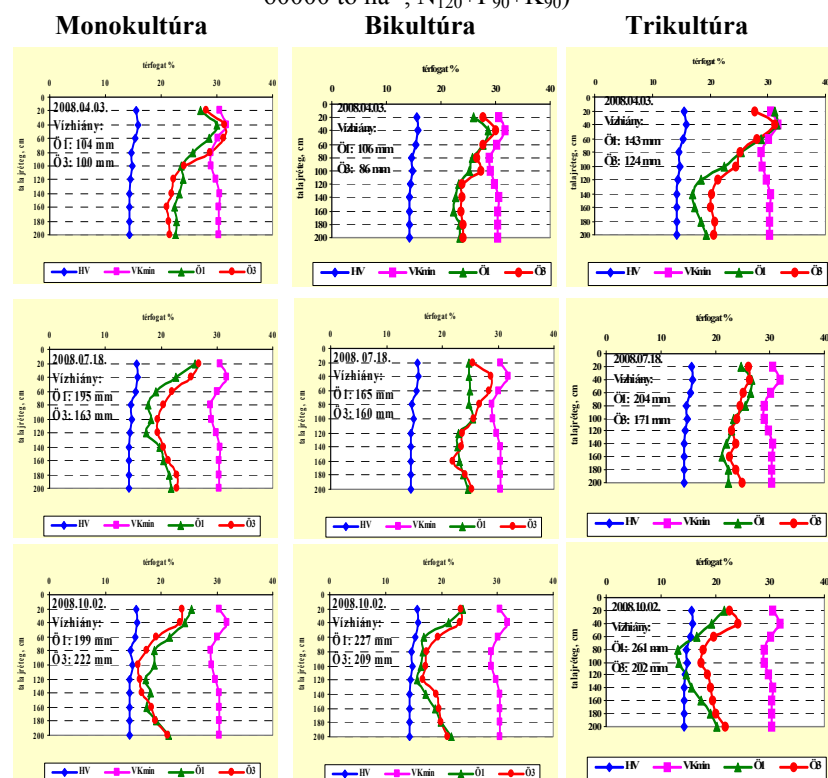
4. ábra. A talaj vízkészletének alakulása 2007-ben nem öntözött (Ö₁) és öntözött (Ö₃) öntözési változatokban mono-, bi- és trikultúrában (Debrecen, 60000 tő ha⁻¹, N₁₂₀+P₉₀+K₉₀)



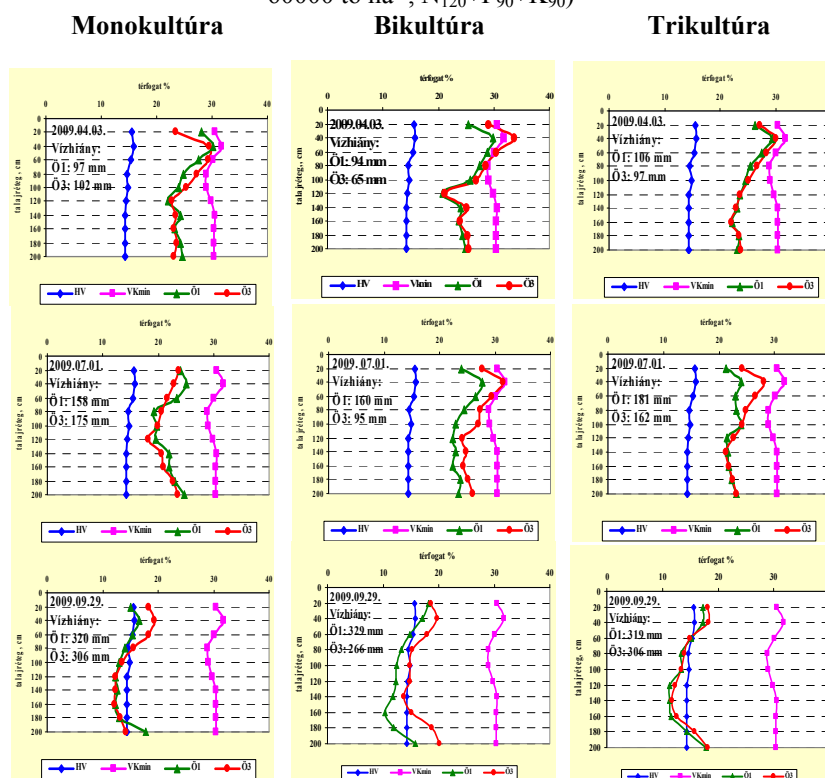
A 2008. évi eredmények azt mutatják, hogy a talaj vízkészlete mindhárom vetésváltási rendszerben kedvezően alakult (25-30 tf%) a kukorica számára, a holtvíztartalom értékét csak a tenyészidőszak végére közelítette meg (13-19 tf%). A kellő időben és mennyiségben lehullott csapadék következtében, a nem öntözött és az öntözött parcellák vízkészlete áprilistól októberig hasonlóan alakult (nem öntözött parcellák 13-30 tf%, öntözött parcellák 17-32 tf%), mindhárom vetésváltási rendszerben, jelentős értékbeli különbség (1-2 tf%) nem állapítható meg, a görbék lefutása közel párhuzamos, mely a tenyészidőszak kedvező vizellátottságának tulajdonítható. Mindhárom vetésváltási rendszerben, mind az öntözetlen, mind az öntözött parcellák esetében a talaj felső, 60 cm rétege szinte a VK_{min} értékig telített volt tavasszal, ez a kukorica kelését, kezdeti fejlődését nagymértékben segítette. A tenyészidőszak végére viszont a gyökérszónában a vízkészlet

megközelítette, trikultúra esetén a nem öntözött kezelésben 13-14 tf%, a másik két vetésváltási rendszer öntözött és nem öntözött kezeléseiben egyaránt 17-19 tf% volt a talajnedvesség, ez azonban már nem befolyásolta kedvezőtlenül az állomány fejlődését, a termésképződési folyamatokat (5. ábra).

5. ábra. A talaj vízkészletének alakulása 2008-ban nem öntözött ($\ddot{O}_1$) és öntözött ($\ddot{O}_3$) öntözési változatokban mono-, bi- és trikultúrában (Debrecen, 60000 tő ha⁻¹, N₁₂₀+P₉₀+K₉₀)



6. ábra. A talaj vízkészletének alakulása 2009-ben nem öntözött (Ö₁) és öntözött (Ö₃) öntözési változatokban mono-, bi- és trikultúrában (Debrecen, 60000 tő ha⁻¹, N₁₂₀+P₉₀+K₉₀)



4.4. Az agrotechnikai tényezők hatása a csernozjom talaj vízhiányára a vizsgált évjáratokban

A mértékadó talajszelvény (0-200 cm) nedvességekészletének alakulása mellett meghatároztuk a kukoricaállomány vízhiányának dinamikai változását, valamint azt, hogy az egyes öntözési kezelések, tápanyagszintek, vetésváltási rendszerek, az állománysűrűség hogyan befolyásolják a növénytermesztési tér vízháztartását.

A 2008. évi vízhiányértékeket és a 2007. évi eredményeket együttesen vizsgálva megállapítható, hogy 2008-ban a kukoricaállomány talajának vízhiányértékei jóval kisebbek voltak az előző évi értékeknél mindhárom

vetésváltás, nem öntözött ($\ddot{O}_1$) és öntözött ($\ddot{O}_3$) kezeléseiben egyaránt (2007-ben 70-376 mm, 2008-ban 78-271 mm). Ez a jelentős különbség a 2008. év kedvező csapadék mennyiségének és jó csapadékeloszlásának tulajdonítható. Annak ellenére, hogy ebben az évben a kukorica zavartalan fejlődéséhez megfelelő mennyiségben és eloszlásban állt rendelkezésre víz a talajban és emiatt nem volt szükség az öntözésre, az öntözött ($\ddot{O}_3$) parcellákban a vízhiány kisebb volt a nem öntözöttekéhez képest mind a mono-, mind a bi-, mind a trikultúra vetésváltásban (nem öntözött és az öntözött kezelések vízhiányértékei között 1-201 mm különbséget számoltunk). Ugyancsak mindhárom vetésváltási rendszerben a vízhiányértékek a júliusi magasabb hőmérséklet hatására megnöttek (a kezdeti 78-152 mm vízhiányértékek 131-254 mm-re nőttek), melyhez a kukoricaállomány növekvő fitotömege, illetve a növény virágzási és terméskötési fenofázisa által megnövekedett vízfogyasztás is hozzájárult. A kukorica számára optimális vízellátás ellenére szeptember első dekádjára a talaj vízkészlete jelentős mértékben lecsökkent mindkét vízellátási változatban. Ez a kedvező vízellátás miatti nagy vegetatív tömeggel és a kiemelkedő terméseredményekkel magyarázható, a kukoricaállomány a rendelkezésre álló talajnedvességet kiemelkedően nagy vegetatív és generatív tömeg fejlesztésére fordította.

A többéves rendszeres öntözés hatása jól megmutatkozik, mivel a 2008. tenyészévben a kísérletet nem öntöztük, mégis már a vegetációs időszakot közvetlenül megelőzően is a talaj vízkészlete az öntözött vízellátási változatokban nagyobb volt (nem öntözött kezelésekben 95-152 mm, míg az öntözöttekben 75-125 mm volt a vízhiány) és ez a jelenség az egész tenyészidőszakban, sőt még betakarítás után is megmaradt.

A tőszám a 2007. évjáráttal szemben szignifikánsan növelte a vízhiányt, megállapítható, hogy a kukorica számára kedvező vízellátottság esetén a nagyobb állománysűrűségű állomány több vizet is fogyaszt (60000 tő ha^{-1} 108 mm, 80000 tő ha^{-1} 124 mm a vetésváltások, az öntözési, valamint a trágyázási kezelések átlagában).

A vetésváltási változatok vízhiányértékei közötti különbségek nem szignifikánsak és nagyon kis eltérést mutatnak (monokultúra 107 mm, bikultúra 115 mm, trikultúra 126 mm), mely arra vezethető vissza, hogy mindhárom vetésváltási rendszer számára elegendő nedvességtárhely állt rendelkezésre a talajban.

A 2009 évi kísérleti eredményeink alapján megállapítható, hogy már a vetést megelőző időszakban is 100 mm körüli vízhiánnyal lehetett számolni mindhárom vetésváltásban a kevés téli-korlatavaszi csapadék miatt. A vízhiányértékek mérsékelt növekedést mutattak az állomány fejlődésével párhuzamosan egészen július elejéig (a kezdeti 100 mm körüli vízhiány

megközelítette, egyes parcelláknál meg is haladta 200 mm-t júliusban). Ha a májusi és júniusi értékeket összevetjük, megállapíthatjuk, hogy a talaj vízkészletében nem következett be változás (májusban 129-190 mm, július elején 143-212 mm vízhiányt mértünk), annak ellenére, hogy ez az időszak a kukorica erőteljesen növekvő vízigényével jellemezhető. Ennek oka a júniusi jelentős mennyiségű csapadék (96,6 mm), melyet az állomány hatékonyan felhasznált vegetatív, a későbbiekben generatív fejlődési szakaszában. Júliusban viszont a kukorica virágzása, terméskötése következtében megnövekvő vízigénye miatt a talaj vízkészletében erőteljes csökkenés indult meg, augusztusban a vízhiányértékek mind a nem öntözött, mind az öntözött parcellákban megközelítették, illetve meg is haladták a 300 mm-t. Ez a folyamat a rendkívül nagy szárazság és a magas hőmérséklet hatására egészen augusztus végéig tartott.

A júniusi vízhiányértékek alapján a trágyázás hatása 2009-ben is jelentkezett, a növekvő trágyadózis, nagyobb vízhiányértékeket eredményezett, bár az eltérés nem volt szignifikáns (kontroll 143 mm, $N_{120}+P_{90}+K_{90}$ 158 mm, $N_{240}+P_{180}+K_{180}$ 172 mm).

A tőszám hatása sem szignifikáns, a 60000 tő ha^{-1} és a 80000 tő ha^{-1} állománysűrűség esetében a vízhiányértékek között nagyon kis értékbeli különbségeket kaptunk (60000 tő ha^{-1} 153 mm, 80000 tő ha^{-1} 162 mm a vetésváltási változatok, az öntözési, valamint a trágyázási kezelések átlagában).

Az öntözött kezelésekben az április vége június eleje közti időszakban a kísérlet eredményei az öntözés pozitív hatásáról tanúskodnak. Míg a nem öntözött kezelésekben a vízhiányértékek ebben az időszakban megugrottak (áprilisi 89-112 mm-ről 139-190 mm-re), addig a májusban kijuttatott öntözővíz hatására az öntözött parcellák talajának vízkészletében nagymértékű csökkenés nem következett be (április végén a vízhiány 65-135 mm, május végén 51-135 mm között alakult). Az öntözés megfelelő időpontját bizonyítja, hogy a vízhiányértékek ebben az időszakban stagnáltak. A kukoricaállomány a növekedési fázisában kapta a vízutánpótlást, így azt maradéktalanul fel tudta használni vegetatív fejlődéséhez.

Az öntözés vízháztartásra gyakorolt hatását vizsgálva megállapítható, hogy a tenyészidőszak elején az eltérés a nem öntözött és az öntözött parcellák vízhiányértékei között monokultúrában volt a legkisebb (10-98 mm). A júliustól kezdődő jelentős csapadékhiány és a 30 éves átlagnál 3 $^{\circ}C$ -kal is magasabb havi átlaghőmérséklet hatására augusztus végére csak nagyon kis különbségek érzékelhetők a nem öntözött és az öntözött parcellák talajainak vízhiányértékei között. Augusztus végére trikkultúrában a nem öntözött kezelés vízhiányértékei szinte megegyeztek az öntözött kezelésben mért

vízhiányértékekkel (2-21 mm különbség). Monokultúrában az öntözött kezelés értékei meg is haladták a nem öntözött kezeléseket (5-17 mm-rel). Ez az öntözés eredményezte nagyobb vegetatív és generatív fitotömeg nagyobb vízfelvételével, illetve az egyre súlyosbodó légköri és talajaszállyal magyarázható.

A vetésváltás esetében a bikultúra vízhiányértékei alakultak szignifikánsan a legkisebb szinten (monokultúra 163 mm, bikultúra 138 mm, trikultúra 172 mm).

4.5. Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termés hozamára

A növénytermesztési tér vízháztartásának alakulása jelentős hatást gyakorol a terméseredményekre is. A vízháztartási folyamatokat agroökológiai és agrotechnikai tényezők egyaránt befolyásolják, meghatározzák. Ebben a fejezetben összefüggést kerestünk az agrotechnikai tényezők (vetésváltás, tápanyag, tőszám, öntözés), a termés mennyiség a tenyészidőszakot közvetlenül megelőző (április), a virágzáskori (június végi), valamint a szemtelítődési időszak – egyben a vegetációs periódus legnagyobb (augusztus közepe-szeptember eleje) – vízhiánya között, a három – jellegét tekintve eltérő – évjáratban.

2007-ben mindegyik vetésváltási rendszerben, mindhárom (kontroll, $N_{120}P_{90}K_{90}$, $N_{240}P_{180}K_{180}$) trágyázási kezelésben a két állománysűrűség terméseredményeit összehasonlítva nagy eltéréseket állapítottunk meg. Mind a nem öntözött ($\ddot{O}_1$), mind az öntözött ($\ddot{O}_3$) kezelésben nagyobb terméseket kaptunk az alacsonyabb tőszámok esetében: a nem öntözött kezeléseknél monokultúrában 250-870 kg ha⁻¹-ral, bikultúrában 520-530 kg ha⁻¹-ral, trikultúrában 200-630 kg ha⁻¹-ral, az öntözött kezeléseknél pedig monokultúrában 360-1100 kg ha⁻¹-ral, bikultúrában 14-570 kg ha⁻¹-ral, trikultúrában 39-440 kg ha⁻¹-ral volt több a termés, két kivétellel, bikultúra nem öntözött kezelésében a kontroll tápanyagszinten (74 kg ha⁻¹-ral), valamint trikultúra esetében az öntözött parcellákban ugyancsak a kontroll tápanyagszinten (425 kg ha⁻¹-ral) a 80000 tő ha⁻¹-os állománysűrűségű kukorica állomány termett többet. Ez azt bizonyítja, hogy a kukorica számára ilyen aszályos körülmények között a kisebb állománysűrűség az optimális. A vetésváltási rendszerekben a termésmaximumot $N_{120}P_{90}K_{90}$ trágyakezelésben kaptuk.

Az öntözés hatására ($\ddot{O}_3=4 \times 50$ mm) jelentős, szignifikáns termésmennyiséget kaptunk a nem öntözött parcellák terméseredményeihez képest, mely az egyes vetésváltásokban, a különböző tőszámoktól és tápanyagszintektől függően 2-5,5 t ha⁻¹ között változott (4-5. táblázat).

Kísérleti eredményeink szerint a tápanyagellátásnak igen jelentős, szignifikáns termésnövelő hatása volt valamennyi vetésváltásban és öntözési változatban. Az 1983. évben beállított tartamkísérletben, ahol

minden parcella, minden évben ugyanazt a kezelést kapja, azaz a kontroll kezelések tápanyagutánpótlásban nem részesülnek, a talaj tápanyagkészlete erőteljesen csökkent, ennek eredményeként a műtrágyázás hatása mono- és bikultúrában jelentős volt. A $N_{120}P_{90}K_{90}$ tápanyagszinten monokultúrában a termésnövekedés $1-1,5 \text{ t ha}^{-1}$, bikultúrában pedig $1,1-1,5 \text{ t ha}^{-1}$, addig ez trikultúra esetében csupán $0,05-0,1 \text{ t ha}^{-1}$ volt. A terméseredmények alapján az $N_{120}P_{90}K_{90}$ műtrágyakezelés bizonyult az agroökológiai optimumnak a különböző vízellátottsági és tőszámkezelésekben.

4. táblázat. Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére (Debrecen, 2007-2009)

2007				2008			2009		
Termés (kg ha ⁻¹)		Öntözés termés-többlete (kg ha ⁻¹)	Termés (kg ha ⁻¹)		Az előző évi öntözés termés-többlete (kg ha ⁻¹)	Termés (kg ha ⁻¹)		Öntözés termés-többlete (kg ha ⁻¹)	
Nem öntözött	Öntözött		Nem öntözött	Öntözött		Nem öntözött	Öntözött		
MONOKULTÚRA									
Ø									
60 ezer	2667	5277	2610	9049	8580	-469	6009	6438	429
80 ezer	2348	4914	2566	8819	7559	-1260	5447	6404	957
N ₁₂₀ +P ₉₀ K ₉₀									
60 ezer	4228	8233	4005	13809	12893	-916	8774	10973	2199
80 ezer	3364	6889	3525	12095	11444	-651	8795	10595	1800
N ₂₄₀ +P ₁₈₀ K ₁₈₀									
60 ezer	2361	7858	5497	12909	13292	383	8704	11173	2469
80 ezer	2109	6757	4648	12464	11657	-807	7792	11256	3464
BIKULTÚRA									
Ø									
60 ezer	5983	8680	2697	11514	12709	1195	10112	10491	379
80 ezer	6057	8106	2049	11577	13294	1717	9674	9958	284
N ₁₂₀ +P ₉₀ K ₉₀									
60 ezer	7696	10694	2998	14056	14158	102	12329	13968	1639
80 ezer	7159	10241	3082	14396	14703	307	11517	13005	1488
N ₂₄₀ +P ₁₈₀ K ₁₈₀									
60 ezer	7026	8761	1735	13360	13736	376	11055	12651	1596
80 ezer	6504	8747	2243	13803	13849	46	10090	12656	2566
	5983								
TRIKULTÚRA									
Ø									
60 ezer	6761	7833	1072	11321	11154	-167	8556	9225	669
80 ezer	6560	8258	1698	11714	11293	-421	8335	8801	466
N ₁₂₀ +P ₉₀ K ₉₀									
60 ezer	6890	11031	4141	13622	14089	467	10160	12858	2698
80 ezer	6614	10992	4378	13465	14236	771	9205	12648	3443
N ₂₄₀ +P ₁₈₀ K ₁₈₀									
60 ezer	6630	10026	3396	13358	13219	-139	9565	10664	1099
80 ezer	6003	9586	3583	14192	14362	170	8759	10750	1991

5. táblázat. A 2007-2009. évi terméseredményekhez tartozó varianciatáblázat

	2007			2008			2009		
	Mono-	Bi-	Tri-	Mono-	Bi-	Tri-	Mono-	Bi-	Tri-
	kultúra			kultúra			kultúra		
SzD _{5%} tőszám	124	233	244	418	502	468	322	533	492
SzD _{5%} tápanyag	152	285	299	512	615	573	394	653	602
SzD _{5%} öntözés	124	233	244	418	502	468	322	533	492
SzD _{5%} tőszám x tápanyag	214	403	423	724	870	811	557	924	852
SzD _{5%} tőszám x öntözés	175	329	345	591	710	662	455	754	695

SzD _{5%} tápanyag x öntözés	214	403	423	724	870	811	557	924	852
--------------------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

A terméseredmények alapján megállapítható, hogy amellet, hogy az N₂₄₀P₁₈₀K₁₈₀ tápanyagdózisok már a környezetet is nagymértékben terhelik, a termés mennyiségére is csökkentőleg hatottak. Ehhez hozzájárult a 2007. tenyészév rendkívül meleg és aszályos időjárása, hiszen a megfelelő tápanyagellátás mellett a növényállománynak megfelelő vízellátásra is szüksége van.

Az agroökológiai és az agrotechnikai tényezőknek a növénytermesztési tér vízháztartásának befolyásolásán keresztül hatása van a termés mennyiségére is. A vizsgálati éveink között két, jellegét tekintve ellentétes évjárat is szerepel, így összefüggéseket kerestünk az öntözés, a termés és a vízhiány között egy aszályos (2007) és egy optimális vízellátottságú (2008) évjáratban. 2007-ben a nagy szárazság okozta abiotikus stressz következtében rendkívül alacsony terméseket takarítottunk be a nem öntözött kezelésekben. A tartós aszály miatt az öntözésnek jelentős, szignifikáns termésmenővelő hatását tapasztaltuk: monokultúrában 2566-5497 kg ha⁻¹, bikultúrában 2049-3082 kg ha⁻¹, míg trikultúrában 1072-4378 kg ha⁻¹ volt az öntözés termésmenőbblé az egyes trágyakezeléseknek, illetve állománysűrűségnek megfelelően. Az öntözővíz adagok megfelelő időben történő kijuttatását jelzi, hogy a vízhiányértékek az öntözött kezelésekben sem csökkentek, a kukoricaállomány a vizet megfelelő hatékonysággal használta fel a termésképződési folyamataiban.

2008-ban (öntözés nem volt) a nem öntözött és az öntözött parcellák vízhiányértékei és terméseredményei között nagyon kis különbségek állapíthatók meg, mely különbségek nem szignifikánsak. A kukorica számára optimális vízellátás ellenére augusztusra a talaj vízkészlete jelentős mértékben lecsökkent mindkét vízellátási változatban: monokultúrában 180-262 mm, bikultúrában 167-391 mm, trikultúrában 174-254 mm között alakult a vízhiány, vízellátási, trágyázási kezelésektől, illetve az állománysűrűségtől függően. A 2008. tenyészév kedvező vízellátása következtében a kukoricaállományok a rendelkezésére álló talajnedvességet kiemelkedően nagy vegetatív és generatív tömeg fejlesztésére fordították, tehát a tenyészidőszak második felében jellemző nagy vízhiányértékek a nagy fitotömeggel és a kiváló terméseredményekkel magyarázhatóak.

A termésátlagok tekintetében viszont nagy különbségek mutatkoznak mono-, bi- és trikultúrában. A bikultúrás vetésváltás talaj vízháztartására gyakorolt pozitív hatása jól érzékelhető a kiemelkedő terméseredményekből, illetve az évek óta rendszeresen öntözött parcellák termésmenőbbléből. Míg a mono- és trikultúrás termesztési rendszerben a nem öntözött parcellák terméseredményei voltak a nagyobbak, addig bikultúrában (búza-kukorica vetésváltásban) a korábban öntözött kezelések

nagyobb talajnedvesség-készlettel rendelkeztek már a vetést megelőző időszakban, április első napjaiban is, és ez a tendencia a virágzás-terméskötés időszakában is megmaradt. Ez a megállapítás a $N_{120}P_{90}K_{90}$ tápanyagkezelés 60000 tő ha^{-1} tőszámnál szembevetendő. A nagyobb, 80000 tő ha^{-1} állománysűrűség a nagyobb vízfogyasztása következtében kisebb induló vízkészlettel rendelkezett, illetve a nagyobb termések eléréséhez több vízre volt szüksége. A tőszám termésre gyakorolt hatása tendencia jelleggel érvényesült, szignifikáns különbségeket nem tudtunk megállapítani.

A 2009. tenyészidőszakban vizsgálva az öntözés és a talaj vízforgalma közötti összefüggéseket a három tápanyagszinten és két állománysűrűség esetén megállapítható, hogy a három vetésváltási rendszer közül mono- és trikultúrában volt a legnagyobb a vízhiány, a legnagyobb értékeket itt kaptuk. Az átlaghőmérséklet emelkedésével és a csapadékhány növekedésével párhuzamosan a talaj vízkészlete is csökkenni kezdett, ennek megfelelően egyre nagyobb vízhiányértékeket kaptunk, melyek augusztusra érték el maximumukat: monokultúrában kontroll (műtrágya nélküli) kezelésben nem öntözött körülmények között 60000 tő ha^{-1} tőszámnál 257-343 mm, bikultúrában 240-324 mm, míg trikultúrában kontroll kezelésben nem öntözött körülmények között 60000 tő ha^{-1} tőszámnál 291-355 mm között alakult a vízhiány, a öntözési és tápanyagellátási szintektől, valamint a tőszámtól függően. Mindhárom vetésváltási rendszerben tapasztalható a júniusi csapadék talaj vízkészletére gyakorolt kedvező hatása. Április végétől május végéig a vízhiány jelentősen növekedett, ez az ütem azonban júniusra lelassult, a talaj vízkészletében jóval kisebb mértékű csökkenés volt tapasztalható. Július végétől a nagyfokú párolgás és a növényállomány fokozódó vízfelvételének eredményeként a talajban raktározódó víz mennyisége erőteljesen csökkent, és ez az állapot megmaradt egészen a tenyészidőszak végéig.

A vizsgált három évjáratból kettő, eltérő mértékben száraz volt (2007., 2009.), viszont ez a csapadékhány az egyes években különböző módon jelentkezett, az időjárás növénytermesztési tér vízháztartására gyakorolt hatását illetően máshogy értékelendő. Ha összehasonlítjuk a 2007. és 2009. év terméseredményeit és a tenyészidőszak legnagyobb vízhiányértékeit elmondható, hogy a vízhiányértékek hasonlóan alakultak mindkét évben. 2009-ben a kukoricaállomány fejlődése szempontjából a kritikus fenofázisban (intenzív vegetatív növekedés) érkező csapadék a virágzás-terméskötés időszakát közvetlenül megelőzte, így mentve meg a termést, míg a 2007. évben az állomány a nagyobb mennyiségű csapadékot csak késve, augusztus közepén kapta, így az már nem volt hatással a termésmennyiség növekedésére.

Az állománysűrűség hatása a két száraz évjáratban a terméseredményekben is megmutatkozik. 2007-ben, egy igen aszályos évben a nagyobb (80000 tő ha^{-1}) tőszámsűrűség kedvezőtlen volt, minden esetben szignifikánsan kisebb terméseket takarítottunk be a 60000 tő ha^{-1} állománysűrűségű parcellák terméseihez viszonyítva.

2009-ben, mely csak részben tekinthető száraz évjáratnak, vagy nem állapítható meg szignifikáns terméstöbblet a két tőszám között, illetve a 60000 tő ha^{-1} eredményei szignifikánsan nagyobbak a 80000 tő ha^{-1} esetében kapott terméseredményeknél. Ez azt bizonyítja, hogy a műtrágyadózisok emelkedésével nem minden esetben jár együtt a termésnövekedés, ha a tápanyagfelvételhez szükséges víz csak korlátozott mennyiségben áll a növény rendelkezésére. A nem öntözött kezelésben ($\bar{O}_1$) a legnagyobb termést (12329 kg ha^{-1}) bikultúrában kaptuk. Az $\bar{O}_3$ kezelésben mindhárom vetésváltási rendszerben nőtt a termés az öntöztelen parcellákéhoz viszonyítva. A legnagyobb növekedés (3464 kg ha^{-1}) monokultúrában tapasztalható (nem öntözött: 7792 kg ha^{-1} ; öntözött: 11256 kg ha^{-1}).

4.5. A kukorica termését kialakító tényezők interaktív elemzése a vizsgált években

Az évjárat nagymértékben befolyásolja a talajok vízháztartását, vízkészletük alakulását, ezáltal a termesztett növényünk termésmennyiségét is. 2007. és 2009. évben a csapadékhiány a talajok vízháztartásában is megmutatkozott, a kukorica szemtelítődési időszakában a nem öntözött parcellákban monokultúrában 338 mm, bikultúrában 357 mm és trikulúrában pedig 327 mm volt a vízhiány, ami a terméseredményekre is hatást gyakorolt, azaz monokultúrában 2846 kg ha^{-1} , bikultúrában 6738 kg ha^{-1} és trikulúrában 6576 kg ha^{-1} volt a termés. 2008-ban bikultúra esetében szignifikáns az eltérés a két öntözési kezelés között mind a vízhiány, mind a terméseredményeket illetően, mely a bikultúras vetésváltásban szereplő növények jó vízgazdálkodását bizonyítja. A 2009. év száraz volta ellenére merőben más eredményeket hozott. A talaj vízkészlete itt is nagy vízhiányról tanúskodik, az öntözővizet nem kapott kezelésekben az augusztus végi-szeptember eleji időszakban monokultúrában 314 mm, bikultúrában 316 mm és trikulúrában 334 mm vízhiányértékeket kaptunk. A terméseredményekben viszont olyan nagy különbségek nem mutatkoztak: monokultúrában 3937 kg-mal, bikultúrában 2322 kg-mal, míg trikulúrában 3848 kg-mal termett kevesebb hektáronként a 2008. évihez viszonyítva.

A terméseredményekben viszont a száraz évjáratokban (2007., 2009.) szignifikáns különbség mutatkozik, monokultúrához képest bi- és trikulúrában jelentős terméstöbblet alakult ki: 2007-ben a nem öntözött kezelésekben bikultúrában 3468 kg ha^{-1} , trikulúrában 2662 kg ha^{-1} , míg az

öntözött parcellákban bikultúrában 2461 kg ha⁻¹, trikultúrában 1793 kg ha⁻¹, 2009-ben a nem öntözött kezelésekben bikultúrában 3555 kg ha⁻¹, trikultúrában 1386 kg ha⁻¹, az öntözött parcellákban pedig bikultúrában 2995 kg ha⁻¹, trikultúrában 1885 kg ha⁻¹ terméstöbbletet adott a kukorica a monokultúras terméseredményekhez viszonyítva. Ezt támasztják alá az öntözött kezelések terméseredményei is. A 2007., rendkívül aszályos és meleg évjáratban az öntözés jelentős terméstöbbletet adott. Monokultúrában 3809 kg ha⁻¹, bikultúrában 2467 kg ha⁻¹ és trikultúrában 3045 kg ha⁻¹ volt a terméstöbblet öntözés hatására. Ebből is látszik, hogy a monokultúras termesztés eredményessége nagyobb mértékben függ a vízellátottsági viszonyoktól. 2009-ben is, kisebb mértékben, de szignifikánsan kimutatható az öntözési terméstöbblet: monokultúrában 2199 kg ha⁻¹, bikultúrában 1639 (és trikultúrában 2698 kg ha⁻¹).

A nem öntözött és az öntözött parcellák vízhiányértékei között a két száraz évben (2007., 2009.) nincs szignifikáns különbség. Ez azzal magyarázható, hogy a kukoricaállomány az öntözéssel pótolta vizet hatékonyan felhasználta vegetatív, de főleg generatív növekedési fázisában, melyet a nem öntözött kezelések terméseredményeihez viszonyítottan jelentősen kedvezőbb terméseredmények bizonyítanak (6. táblázat).

6. táblázat. Az öntözés és vetésváltás hatása a kukorica terméshozamára a trágyázási és tőszám kezelések átlagában kísérleti évenként (Debrecen, 2007-2009)

	Monokultúra		Bikultúra		Trikultúra	
	Öntözetlen	Öntözött	Öntözetlen	Öntözött	Öntözetlen	Öntözött
2007. év						
max. vízhiány (mm)	338	314	357	354	327	329
Termés (kg ha ⁻¹)	2846	6655	6738	9205	6576	9621
SzD _{5%} max. vízhiány	24		21		32	
SzD _{5%} termés	124		233		244	
2008. év						
max. vízhiány (mm)	223	212	278	220	238	220
Termés (kg ha ⁻¹)	11524	10919	13118	13741	12945	13059
SzD _{5%} max. vízhiány	24		18		23	
SzD _{5%} termés	418		502		468	
2009. év						
max. vízhiány (mm)	314	315	316	277	334	336
Termés (kg ha ⁻¹)	7587	9473	10796	12122	9097	10824
SzD _{5%} max. vízhiány	17		24		13	
SzD _{5%} termés	322		533		492	

Megvizsgáltuk az egyes agrotechnikai tényezők hatását a kukorica terméskülönbségeire is. Megállapítható, hogy az öntözésnek a termésnövelő hatása optimális tápanyagszinten erőteljesebb, azaz az öntözés hiányos tápanyagellátás esetén nem megfelelő hatékonysággal érvényesül. Az optimális víz- (öntözés) és tápanyagellátás (trágyázás) kölcsönhatása jelentős terméstöbbletet eredményezett. Ezt bizonyítja az 7. táblázat is, a legnagyobb terméskülönbséget (2873 kg ha⁻¹) 2008-ban kaptuk, amikor a kukorica számára kedvező volt a vízellátás.

A vetésváltási változatok esetében a bi- és trikultúras vetésváltási rendszerek terméseredményeit a monokultúras értékekhez viszonyítottuk. Az 7. táblázatból megállapítható, hogy a 3 év átlagát tekintve a bikultúras vetésváltási változatnál volt a legnagyobb a terméskülönbség (2786 kg ha⁻¹). A tőszám tekintetében állapítottuk meg a legkisebb eltérést a két állománysűrűség terméseredményei között, de mindhárom év esetében a kezelések átlagában a 80000 tő ha⁻¹-nál terméscsökkenés mutatható ki a 60000 tő ha⁻¹-hoz viszonyítva.

7. táblázat. Agrotechnikai tényezők hatásának értékelése a terméskülönbségek (kg ha⁻¹) alapján (Debrecen, 2007-2009)

Agrotechnikai tényező	2007		2008		2009		3 év átlaga	
Öntözés	Ø	Nopt+PK	Ø	Nopt+PK	Ø	Nopt+PK	Ø	Nopt+PK
	2115	3688	-	-	1080	2292	1598	2990
Tápanyagellátás	1716		2873		1833		2141	
Vetésváltás	Bi	Tri	Bi	Tri	Bi	Tri	Bi	Tri
	3221	3348	2208	1780	2929	1431	2786	2186
Tőszám	-413		-111		-445		-323	

Pearson-féle korrelációval összefüggéseket kerestünk az egyes évjáratokban, illetve az egyes vetésváltásokban a vízhiányértékek, a termés, az öntözés, a tápanyagellátás, a tenyésztidőszak előtti csapadék (október – március), a tenyésztidőszak (április – szeptember) csapadékmennyisége, valamint a június-július, mint a vízellátás szempontjából kiemelt fontosságú időszak csapadéka között.

2007-ben az öntözésnek erős befolyásoló hatását lehetett kimutatni a termésre (0,649), mely kapcsolat szignifikáns. Aszályos évjáratban a tápanyagellátás és a termés közötti összefüggés közepes (0,335). 2008-ban ezek az értékek ellenkezőleg alakultak, az optimális vízellátás következtében. A kukorica számára minden fenofázisban kellő mennyiségben rendelkezésre álló talajnedvesség hatására a tápanyag és a termés között szoros szignifikáns kapcsolat (0,597) alakult ki.

2009-ben az öntözés és a termés között közepes, szignifikáns korreláció (0,397) állapítható meg, mely azzal magyarázható, hogy az állomány a mesterséges vízutánpótlást májusban kapta, így az öntözővizet vegetatív fejlődési folyamataiban használta fel.

A tápanyagellátás és a termés között közepes, szignifikáns (0,422) az összefüggés. A tőszám egyik évjáratban sem volt szignifikáns korrelációs kapcsolatban a terméssel.

Az egyes vetésváltási rendszerekben a termés, a vízhiány, az öntözés, a tápanyagellátás, a tenyésztidőszakot megelőző, a tenyésztidőszakbeli, illetve a június-júliusi csapadék és hőmérsékleti értékeket vetettük össze,

vizsgáltuk a közöttük lévő korrelációs kapcsolatot, a vizsgálati (2007., 2008. és 2009.) években (8. táblázat).

A három év vizsgálati eredményei alapján megállapítható, mindhárom vetésváltásban a legnagyobb a befolyásoló hatása a termésmennyiségre, ezáltal a vízhiányra is, a júniusi-júliusi időszak, a kukorica legvízigényesebb időszaka, amikor a vízellátottság mellett a hőmérséklet is igen erős hatással bír a termésképződési folyamatokra. A júniusi-júliusi időszakban hullott csapadék és termés között mono-, bi- és trikultúrában igen erős szignifikáns összefüggés állapítható meg (monokultúrában 0,711, bikultúrában 0,754 és trikultúrában 0,781).

8. táblázat. Néhány agrotechnikai elem, a hőmérséklet, a csapadék és a termés közötti korrelációs együtthatók (Debrecen, 2007-2008-2009. évek)

	Monokultúra	Bikultúra	Trikultúra
Évjárat-termés	0,456**	0,540**	0,300**
Tápanyag-termés	0,350**	0,183	0,233*
Vízhiány-termés	-0,423**	-0,668**	-0,562**
Tőszám-termés	-0,104	-0,041	-0,013
Június-júliusi csapadék-termés	0,711**	0,754**	0,781**
Június-júliusi csapadék-vízhiány	-0,808**	-0,810**	-0,878**
Október-márciusi csapadék-termés	0,749**	0,832**	0,685**
Október-márciusi csapadék-vízhiány	-0,529**	-0,768**	-0,506**
Április-szeptemberi csapadék-termés	0,431**	0,427**	0,581**
Április-szeptemberi csapadék-vízhiány	-0,740**	-0,558**	-0,858**
Június-júliusi hőösszeg-termés	-0,782**	-0,848**	-0,788**
Június-júliusi hőösszeg-vízhiány	0,723**	0,847**	0,751**

A dupla csillaggal (**) jelölt számok P=1 %-os szinten szignifikáns korrelációt mutatnak

Az őszi-téli hónapok „talajt feltöltő” csapadéka is, mely a tenyészidőszakon kívül esik, meghatározó jelentőségű a termésalakító folyamatokra nézve, mono- és bikultúrában kultúrában igen szoros (0,749, 0,832), trikultúrában erős (0,685) korrelációs kapcsolatot mutat a betakarított termés mennyiségével.

A tenyészidőszak csapadéka és a vízhiány között igen szoros a kapcsolat mono- és trikultúrában (-0,740, -0,858), bikultúrában az összefüggés szoros (-0,558). Az április-szeptemberi csapadék és a termés közötti korrelációs kapcsolat erőssége közepes mono- és bikultúrában (0,431, 0,427), míg trikultúrában erős (0,581).

5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Csernozjom talajon a kukorica vízellátása szempontjából a 0-60 cm talajréteg meghatározó jelentőségű a vegetációs periódus során. A 61-120 cm talajréteg a gyökérzet lehatolását követően (július) játszik közvetlen szerepet a növény vízellátásában, míg a 121-200 cm zóna a kapilláris vízemelés következtében a felsőbb rétegek vízvesztését pótolja, közvetve vesz részt a növénytermesztési tér vízháztartásában.
2. A kukorica termése szempontjából a tavaszi (április) induló vízkészlet (őszi-téli hónapok raktározott csapadéka $\times$ termés $r=0,685-0,832$), valamint a tenyészidő kritikus fázisaiban (június-júliusi csapadék $\times$ termés $r=0,711-0,781$) lehullott csapadék a meghatározó.
3. A csernozjom talaj vízkészletét, annak változását alapvetően az évjárat időjárási viszonyai határozzák meg. Extrém száraz évjáratban (2007) a talajszelvény maximális vízhiánya (augusztus) 326-355 mm, száraz évjáratban (2009) 293-335 mm, míg kedvező vízellátottságú évjáratban (2008) 212-247 mm közötti volt.
4. A talaj vízhiányát – a meteorológiai tényezők determináló hatásán túl – a kukoricatermesztésben alkalmazott agrotechnikai elemek (vetésváltás, öntözés, tápanyag-utánpótlás, tőszám) is módosítják. A 0-200 cm talajszelvényben a tenyészidőbeli maximális vízhiány esetében a vetésváltási változatok között monokultúrához viszonyítva bikultúrában 21-34 mm, trikultúrában 2-20 mm, a vízellátási kezelések között 8-31 mm, a 60000 tő ha⁻¹ és 80000 tő ha⁻¹ tőszám között 2-31 mm, míg a trágyakezelések között – a kontrollhoz viszonyítva – a N₁₂₀+PK kezelésben 20-35 mm, a N₂₄₀+PK kezelésben 21-47 mm különbség volt a vizsgált három év, illetve a kezelések átlagában.
5. A kukorica termése és a 0-200 cm talajszelvény vízhiánya között szoros ($r=-0,423- -0,668$), a termés és az öntözés között száraz évjáratban ugyancsak szoros ($r=0,649$), a termés és a tápanyagellátás között közepes ($r= 0,335-0,597$) erősségű korrelációt lehetett meghatározni csernozjom talajon, a Hajdúságban.
6. Az öntözés direkt (adott vegetációs periódusban) hatása mellett indirekt, utóhatását lehetett megállapítani a következő tenyészév kezdetén (2008), amikor nem volt öntözés, a nem öntözött parcellák vízhiányértékei monokultúrában 17 mm-rel, bikultúrában 34 mm-rel és trikultúrában 16 mm-rel voltak nagyobbak az öntözöttekéhez viszonyítva az egyéb agrotechnikai kezelések átlagában, és ez a tendencia az egész tenyészidőszak során megmaradt.

7. Csernozjom talajon, a Hajdúságban a kukorica termését az agrotechnikai tényezők (öntözés, tápanyagellátás, állománysűrűség, vetésváltás) eltérő mértékben növelték. A kukorica az öntözés hatására $1,1-3,7 \text{ t ha}^{-1}$, a trágyázás hatására $1,7-2,9 \text{ t ha}^{-1}$, a tőszám hatására $0,4 \text{ t ha}^{-1}$, a vetésváltás hatására (monokultúrához képest) bikultúrában $2,2-3,2 \text{ t ha}^{-1}$, trikultúrában $1,4-3,3 \text{ t ha}^{-1}$ terméstöbbletet adott, évjáráttól függően.

6. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ EREDMÉNYEK

1. Hazánk éghajlati viszonyai között a hatékony kukorica termesztés alapja a víztakarékos, csapadék- és öntözővizet hatékonyan hasznosító termesztéstechnológia kialakítása. A kukorica vízfelvételét, termését a vízellátás (talajban tárolt vízkészlet, a vegetációs periódus csapadékmennyisége, eloszlása, öntözés) alapvetően determinálta.
2. A növénytermesztési tér vízháztartásában, a kukorica vízellátásában meghatározó a csernozjom talaj vízkészlete és a vegetációs periódusban lehulló csapadék mennyisége, megoszlása. A talaj vízkészletét az agrotechnikai tényezők (vetésváltás, öntözés, trágyázás, tőszám) eltérő mértékben befolyásolták.
3. A csernozjom talaj minimális vízkészlete a szemtelítődés időszakában (augusztus közepe - szeptember eleje) alakul ki. A csapadék és az öntözés döntően a talaj 0-60 cm rétegének vízkészletét befolyásolja, de a kukorica vízellátásában komoly szerepet játszik a 61-120 cm, valamint – a kapilláris vízemelés révén – a 121-200 cm talajréteg is. A kukorica vízellátásában a mély termőrétegű, vízzáró réteget nem tartalmazó csernozjom talajon a 0-200 cm teljes talajszelvény részt vesz.
4. A csernozjom talaj vízkészletét elsősorban a vetésváltás határozta meg, melyet módosított az öntözés, a trágyázás. Legkisebb hatása a talaj vízkészletére a tőszámnak volt a kukoricatermesztésben.
5. A kisebb tavaszi vízkészlettel induló kukoricaállomány nagyobb mértékben függ a később, a tenyészidőszak folyamán lehullott csapadék mennyiségétől, illetve eloszlásától.
6. A többéves rendszeres öntözés utóhatása az azt követő vegetációs periódusban is megmutatkozott. Ez a különbség a tenyészidőszak kezdetén, későbbi szakaszaiban, sőt a kukorica betakarítása után is megmaradt.
7. Az öntözés megfelelő időpontját az bizonyítja a gyakorlatban, ha a vízhiányértékek az öntözési időpontok közötti időszakban nem változnak. Ha a kukoricaállomány kellő időben, a számára kiemelkedően vízigényes fenofázisban kap vízutánpótlást, úgy azt hatékonyan fel tudja használni vegetatív fejlődéséhez és termésképzéséhez.

8. Az agrotechnikai elemek optimalizálásával (vetésváltás, trágyázás, öntözés, tőszám) az eltérő évjáratokban a kukorica maximális termése 9,6-13,9 t ha⁻¹ között változott kisparcellás tartamkísérletben csernozjom talajon a Hajdúságban. Alapvető fontosságú tehát az agrotechnikai tényezők harmonizációja a nagy termések elérése céljából a gyakorlati termesztésben.

**AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN MEGJELENT FONTOSABB
PUBLIKÁCIÓK LISTÁJA**

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált folyóiratban:

- Peter Pepo - Laszlo Zsombik - Attila Vad - Sandor Berenyi - **Lajos Dóka**. (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. **13**. 181 – 187.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

- Sándor Berényi, Attila Vad, **Lajos Dóka**, Péter Pepó. (2007): Effect of fertilization and cropyears on maize (*Zea mays L.*) yields in different crop rotations. Cereal Research Communications. **35.2**. 241-244.
- **Dóka Lajos Fülöp** – Pepó Péter (2007): Role of watersupply in monoculture maize (*Zea mays L.*) production. Cereal Research Communications. **35.2**. 353-356.
- **Fülöp Lajos Dóka** (2008): Effect of some agrotechnical factors on water budget in maize (*Zea mays L.*) production. Cereal Research Communications. **36.3**. 747-750.
- Attila Vad – **Lajos Fülöp Dóka** (2009): Cropyear as abiotic stressor regarding yield of maize (*Zea mays L.*) in different crop rotations. Cereal Research Communications. **37**. 253-256.
- **Dóka Lajos Fülöp** - Pepó Péter (2009): Yield and Water Balance of Maize Grown in Rotation on Chernozem Soil. Cereal Research Communications. **37. 4**. 611-621.

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban:

- Pépó Péter - **Dóka Lajos** - Berényi Sándor - Vad Attila. (2008): Az öntözés hatása a kukorica (*Zea Mays L.*) termésére száraz évjáratban csernozjom talajon. Növénytermelés. **57.2**. 171-179.
- **Dóka Lajos Fülöp** (2008): A kukorica öntözésének és állománysűrűségének hatása a vízháztartásra és a termésre. Növénytermelés. **57. 3**. 267-273.

Lektorált magyar nyelvű tudományos közlemény:

- **Dóka Lajos Fülöp** (2007): Agrotechnikai tényezők hatása a monokultúrák kukorica (*Zea mays L.*) vízfelvételére és termésére. Acta Agronomica Óváriensis. Vol. 49. No. 2. Mosonmagyaróvár. 581-589.
- **Dóka Lajos Fülöp** (2008): A kukoricaállomány 2007. évi szélsőséges vízforgalmának vizsgálata eltérő vetésváltási rendszerekben. Agrártudományi közlemények. Acta Agronomica Debreceniensis 2008/32. 33-41.

- **Dóka Lajos Fülöp** (2009): Talaj vízháztartási vizsgálatok különböző vetésváltású kukoricában. Agrártudományi közlemények. Acta Agronomica Debreceniensis 2009/36. 41-49.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- **Dóka Lajos Fülöp** (2008): Néhány agrotechnikai tényező vízháztartásra és termésre gyakorolt hatása monokultúrás kukorica (*Zea mays L.*) termesztésben. [Effect of some agrotechnical factors on water husbandry and yield in monoculture maize (*Zea mays L.*) production]. Szerk.: Pepó Péter. Magyar-Szlovák Kormányközi TÉT Együttműködés (CD kiadvány), 133-137. ISBN 978-963-9732-33-9.
- **Dóka Lajos Fülöp** (2008): Néhány agrotechnikai tényező vízháztartásra és termésre gyakorolt hatása monokultúrás kukorica (*Zea mays L.*) termesztésben. [Effect of some agrotechnical factors on water husbandry and yield in monoculture maize (*Zea mays L.*) production]. Szerk.: Pepó Péter. Magyar-Szlovák Kormányközi TÉT Együttműködés, 133-137. ISBN 978-963-9732-34-6.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- **Dóka Lajos Fülöp** (2009): Évjárat és öntözés hatása a csernozjom talaj vízháztartására. V. Növénytermesztési Tudományos Nap Keszthely. 73-77. ISBN 978 963 05 8804 1.

**A KUTATÁSI TÉMÁHOZ KÖZVETLENÜL NEM KAPCSOLÓDÓ
PUBLIKÁCIÓK**

Tudományos közlemény magyar nyelvű nem lektorált folyóiratban

- **Dóka Lajos Fülöp** – Szabó András (2009): Környezetkímélő tápanyag-gazdálkodási módok alkalmazása. Értékálló Aranykorona. IX. évfolyam1. sz. 16-17.
- Szabó András – **Dóka Lajos Fülöp** (2009): Nem mindegy a tőszám – A vetés kritikus elemei. Haszon agrár. III. évfolyam. 2009/2. március. 28-34.
- **Dóka Lajos Fülöp** – Szabó András (2009): Őszi vetés: így csináljuk! Itt az árpa és a búza ideje. Haszon agrár. III. évfolyam. 2009/9. szeptember. 21-25.