

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**A MŰTRÁGYÁZÁS ÉS AZ ÖNTÖZÉS INTERAKCIÓJÁNAK
VIZSGÁLATA A KUKORICATERMESZTÉSBEN**

Ragán Péter

Témavezető: Dr. Kakuszi-Széles Adrienn



DEBRECENI EGYETEM
Kerpely Kálmán Doktori Iskola

Debrecen
2017

1. A DOKTORI ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITÚZÉSEI

A szántóföldi növénytermesztés alapvető fontosságú az emberiség élelmezése szempontjából. A gazdasági növények a napsugárzás fényenergiájából a humán és haszonállat táplálkozáshoz nélkülözhetetlen szénhidrátokat, fehérjéket és olajokat szintetizálnak. A táplálék előállításával az iparilag fejlett országokban a népesség egyre kisebb hányada foglalkozik.

A mezőgazdasági termelés növelése elkerülhetetlen a világ lakosságának élelmezése szempontjából, amely egyre növekvő öntözővíz és ásványi trágyamennyiséggel biztosítható (Yang *et al.*, 2006). A Föld lakossága 2005 és 2012 között 8,7%-kal növekedett, és 2014-ben 7,08 milliárd fő volt (Statisztikai tükör, 2014), így a gabonanövények, köztük a kukorica növekvő hozamaira, valamint a termésbiztonság növelésére is egyre nagyobb szükség van. Emellett természetesen a minőségi tényezőket is szem előtt kell tartani, mivel táplálkozási értékét a beltartalmi összetétel határozza meg. A növekvő hozamokat megfelelő tápanyag-gazdálkodással lehet elérni, viszont a termésbiztonság kérdését a megfelelő vízgazdálkodással lehet csak biztosítani.

A trágyázás célja a növények tápelem ellátása, a talajok termékenységének védelme, a termés hozamok szinten tartása, növelése és beltartalmi minőségének javítása. Azonban a nem megfelelő tápanyag-visszapótlás miatt kimosódó nitrogén szennyezheti a felszíni vizeket, és a felszín alatti vízkészletet (OECD, 1982; Smith, 1998; Aparicio *et al.*, 2008). Világszerte a nitrátszennyezés az egyik legnagyobb probléma, mivel az ivóvíz magas nitráttartalma káros az emberi egészségre (Weisenburger, 1991). A magas nitráttartalmú víz fogyasztása methemoglobinémiát, vagy „Kék baba tünetet (Blue Child Syndrome)” (Sasson, 1993), spontán vetélést (Nolan, 1999) és különböző rákformákat (Weisenburger, 1991) okozhat. Ezért fontos a termőhelynek, növénynek és évjáratnak megfelelő műtrágya-adagok meghatározása.

A kimosódás csökkentése miatt szükség van a nitrogéntrágyák megosztására. A megfelelő alap- és fejtrágya dózisok meghatározása nemcsak környezetvédelmi, hanem gazdaságossági szempontból is egyre fontosabb.

Tartamkísérletekre a tápanyag-hasznosulás, valamint a klímaváltozás tartamhatásainak megfigyelése miatt is szükség van. A mezőgazdaságban a döntéshozatal nagy mennyiségű adatot igényel (Milics, 2015). Az adatok térbeli és időbeli kezelésének hatékony módja a térinformatika (Dobos *et al.*, 2004). A termőhely talajára vonatkozó információs igény a mezőgazdaság tudományos kutatásával azonos korú (Pásztor és Szabó, 2006). A

hozamtérképek alapján következtetni lehet a talajadottságokra is, valamint segítségével tartamkísérletekben munkahipotézis állítható fel.

A növénytermesztés és ezen belül a kukoricatermesztés hatékonyságát a genotípus mellett, elsősorban a víz- és tápanyag-ellátottság, valamint a tápanyag kijuttatásának ideje és megosztása határozza meg. A szakszerű műtrágyázás az optimális növénytermesztés egyik alapfeltétele, hiszen ha pontosan ismerjük is a talajban lejátszódó jelenségeket, a talaj tápanyag-szolgáltató képességét befolyásoló tényezőket, mégsem kapunk a növény tápláltsági állapotára teljeskörű választ. Ezért nélkülözhetetlen a talaj mellett a növény vizsgálata is. Az öntözés, a tápanyag-hasznosulás, az évjáráthatás és a klímaváltozás hatásainak elemzésére tartamkísérletekre van szükség, melyekkel mindez monitorozható. A vizsgálatok mellett a tartamkísérleten belül az egyes parcellához tartozó adatok térbeli megjelenítésére is szükség lehet akár a talaj heterogenitás vizsgálat, vagy akár prezentáció céljából.

A vizsgálataim legfontosabb célkitűzései:

- alap- és fejtrágya hasznosulásának vizsgálata SPAD mérésekkel eltérő öntözési változatokban, újszerű statisztikai módszerrel;
- a fenológiai fázisok és az öntözés hatásainak vizsgálata kukorica növényre SPAD mérésekkel;
- alap- és fejtrágya, az öntözés, valamint a genotípus hogyan hatottak a kukorica termésére;
- a műtrágyázás és az évjárat hatásának vizsgálata a termésre újszerű módszerrel;
- a műtrágyázási szaktanácsadás módszertanának fejlesztése;
- új és használható módszer létrehozása a szántóföldi tartamkísérletek adatainak megfelelő térbeli és időbeli tárolására és megjelenítésére.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A KÍSÉRLET JELLEMZÉSE

A méréseket a Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet Látóképi Kísérleti Telepén (47° 33' É, 21° 26' K, 111 m), mérsékelt meleg és száraz termesztési körzetben 2012-2014-es években végeztük. A kísérlet osztott sávós (split-strip-plot) elrendezésű, kétismétléses. A főparcellákon a hibridek, osztó parcellákon az öntözési változatok (öntözött, nem öntözött), valamint az osztó-osztóparcellákon a műtrágya-dózisok szerepelnek. A növényszámot 73 ezer növény ha⁻¹-ra állítottuk be. Az elővetemény kukorica volt. A kijuttatott műtrágya minden évjáratban 27%-os MAS (Genezis Pétisó) volt, azaz kémiaiilag NH₄NO₃ + CaMg (CO₃)₂. Pontos összetétele: 27% nitrogen (N) ammónia (NH₄) és nitrát (NO₃) formában 1:1 arányban 5% kalcium (Ca), ami kalciumoxidban kifejezve 7% CaO, 3% magnézium (Mg), ami magnéziumoxidban kifejezve 5% MgO. A kísérlet öntözését Valley típusú lineár biztosította, az évjárat igényeinek megfelelő víznormával.

A műtrágya-adagokat megosztottuk alap- és fejtrágya kezelésekre.

- Alaptrágyázás: A₍₀₎=kezeletlen kontroll; A₍₆₀₎=60 kg N ha⁻¹; A₍₁₂₀₎= 120 kg N ha⁻¹,
- Fejtrágyázás V6 fenofázisban: V6₍₉₀₎=A₍₆₀₎+30 kg N ha⁻¹; V6₍₁₅₀₎=A₍₁₂₀₎+30 kg N ha⁻¹,
- Fejtrágyázás V12 fenofázisban: V12₍₁₂₀₎=V6₍₉₀₎+30 kg N ha⁻¹; V12₍₁₈₀₎=V6₍₁₅₀₎+30 kg N ha⁻¹.

2.2. KLOROFILLTARTALOM MÉRÉSEK

Számos más kutatóhoz (Yadava, 1986; Schepers *et al.*, 1992; Piekielek és Fox, 1992, Berzsenyi és Lap, 2003b; Ványiné, 2008) hasonlóan, a relatív klorofilltartalom méréseket SPAD-502 klorofill mérővel végeztük. Minden parcellán három növényt mértünk, a méréseket V6 (Ritchie *et al.*, 1997) és V12 fázisban a legfelső kifejtett levélen, az R1 fázisban a csővel átellenes levélen végeztük (Costa *et al.*, 2001). Minden esetben, minden parcella balról második sorának 6., 7. és 8. növényén mértük.

2.3. BETAKARÍTÁS, HOZAM- ÉS NEDVESSÉGMÉRÉS

A kísérletet Sampo 2010 típusú kombájnnal végeztük, melyben a beépített mérleggel történt a parcellánkénti hozamok mérése, valamint a későbbi beltartalom méréshez történő mintavétel. A hozamok kilogramm/parcella értékeit 15%-os nedvesség tartalom mellett tonna/hektár mértékegységre számoltunk át.

2.4. ALKALMAZOTT STATISZTIKAI MÓDSZEREK

A statisztikai vizsgálatot, valamint az interakció grafikonok elkészítését R 3.2.4. statisztikai környezetben (*R Core Team, 2016*) RStudio (*RStudio Team, 2016*) grafikus felülettel, "gplots" (*Warnes et. al., 2015*), "car" (*Fox és Weisberg, 2011*) és "agricolae" (*de Mendiburu, 2016*) csomagok felhasználásával végeztük. A grafikonok készítését Ms Excel 2010-el végeztük.

A műtrágyázás és a SPAD értékek összefüggésének, valamint az öntözés és a SPAD értékek vizsgálatára ismételt mérési modellt alkottunk *Huzsvai és Balogh (2015)* példája alapján. A műtrágyázás és a termés kapcsolatához variancia analízist végeztünk, *Huzsvai (2013)* modelljét felhasználva. A mért SPAD értékek és a termés adatok középérték összehasonlítását Student – Newman – Keuls (SNK) módszerével végeztük, amelyben meghatároztuk a legkisebb szignifikáns differenciát. Lineáris regresszió analízist végeztünk a mért SPAD értékek és a termés kapcsolatának vizsgálatára.

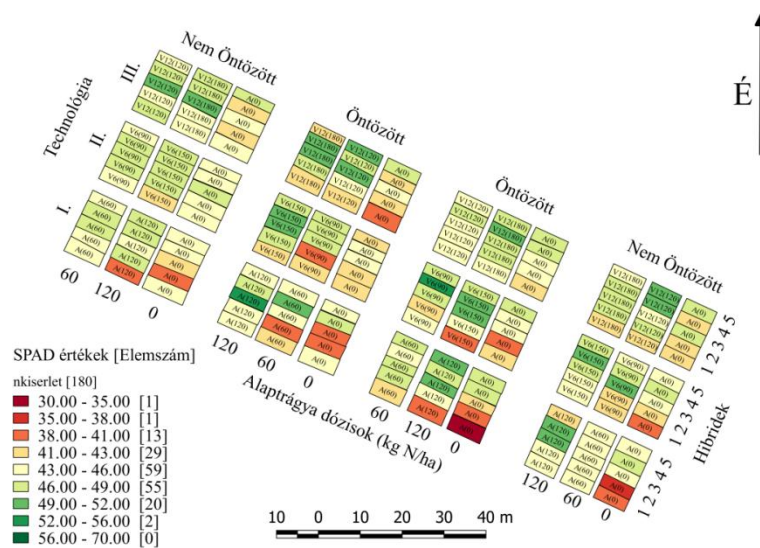
2.5. KÍSÉRLETI ADATOK MEGJELENÍTÉSE TÉRINFORMATIKAI KÖRNYEZET SEGÍTSÉGÉVEL

A térinformatikai környezetben való adatbevitelre, és ezek megjelenítésre a Quantum GIS-t (*Quantum GIS Development Team, 2016*) használtunk. A parcellák körvonalait GPS segítségével felvételeztük és Quantum GIS 2.8.1. térinformatikai program segítségével készítettük el az egyes parcellákra az eloszlási térképet. Az adatok bevitelére OpenOffice Calc programot alkalmaztuk, ami ingyenes alternatívája az Ms Excelnek. Az eloszlási térképet a QGIS beépített kategorizálásával, a megfelelő attribútum oszlop felhasználásával készítettük, melyet utána *.png kiterjesztésű képekként használtunk fel a dolgozatban.

3. EREDMÉNYEK

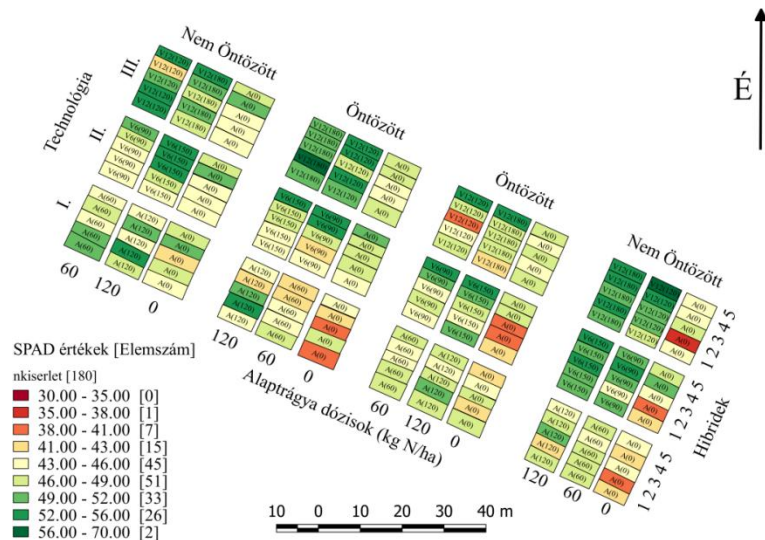
3.1. ALAP- ÉS FEJTRÁGYÁZÁS, AZ ÖNTÖZÉS, VALAMINT A FENOLÓGIAI FÁZISOK HATÁSA A KUKORICA KLOROFILL-KONCENTRÁCIÓJÁRA KÜLÖNBÖZŐ ÉVJÁRATOKBAN

2012. évben 6 leveles fenológiai fázisban a műtrágyázatlan kontroll parcellákon kisebb SPAD értékeket mértünk, mint a műtrágyával kezelt parcellákon (1. ábra). Öntözetlen körülmények mellett nem figyelhető meg különbség a műtrágyával kezelt parcellák SPAD értékei között. Öntözött körülmények között viszont, a 120 kg N ha⁻¹ alaptrágya dózissal kezelt parcellák SPAD értékei nagyobbak.



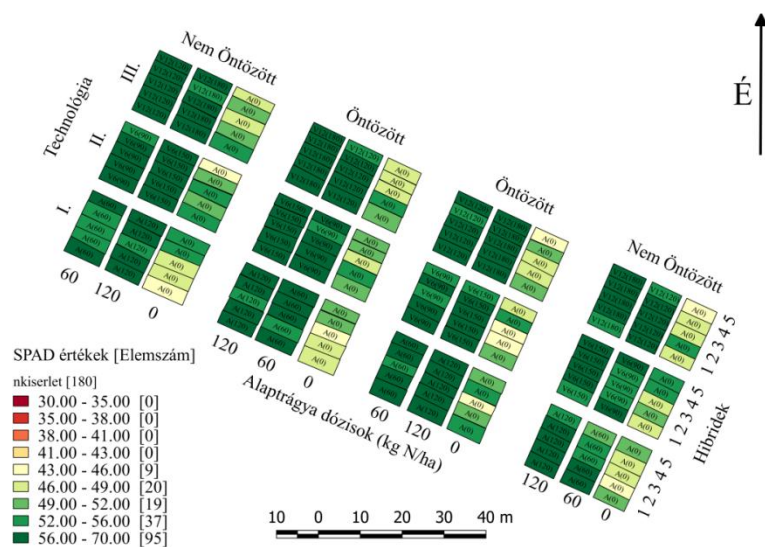
1. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 6 leveles állapotban (Látókép, 2012)

12 leveles állapotban a nagyobb dózisu fejtrágyázott kezelések mellett nagyobb SPAD értéket figyeltünk meg. Azonban a 12 leveles állapotban kijuttatott fejtrágyák hatása itt figyelhető meg a legjobban, mivel a mérések és a fejtrágyázás időpontja között eltelt idő alatt még nem hasznosult (2. ábra).



2. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 12 leveles állapotban (Látókép, 2012)

A 2012-es évjáratban, az **R1** növekedési szakaszban már a térképen is megfigyelhető a 12 leveles állapotban kijuttatott fejtrágyázás relatív klorofilltartalom növelő hatása. Az $A_{(60)}$, azaz a 60 kg N ha^{-1} alaptrágyával kezelt parcellákon a mért SPAD értékek jól elkülöníthetők a nagyobb műtrágya-kezelésektől (3. ábra). A 120 kg N ha^{-1} feletti műtrágya-kezelésekben nagyobb SPAD értékeket mértünk.



3. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 50 %-os nővirágzás állapotban (Látókép, 2012)

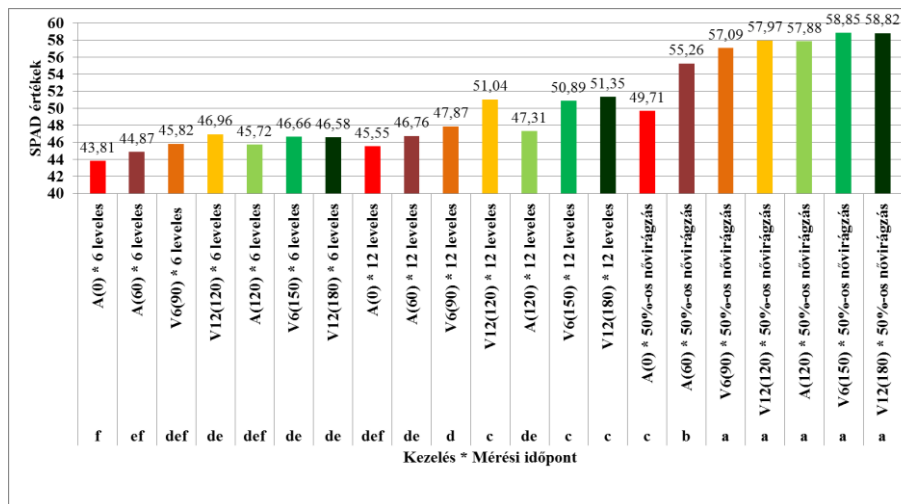
A statisztikai elemzés során külön vizsgáltuk a műtrágya-kezelések hatását öntözetlen és öntözött körülmények között a SPAD értékekre 2012-ben. Az *öntözetlen* parcellákon a műtrágya-kezelések, a fenológiai fázis, valamint ezek kölcsönhatásai is szignifikánsan ($P < 0,001$) befolyásolták a SPAD értékeket. A post hoc teszt alapján elmondható, hogy 2012-ben minden kezelés szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte a klorofill-koncentrációt a

műtrágyázatlan kontrollhoz képest. Az $A_{(60)}$ kezelésben 2,6 értékkel mértünk nagyobb SPAD értékeket, mint a kontroll parcellákon. A $V6_{(90)}$ kezelésben szignifikánsan nagyobb (1,3) klorofilltartalmat mértünk, mint az $A_{(60)}$ kezelésben. A $V6_{(90)}$ és az $A_{(120)}$ kezelés között nem volt statisztikailag kimutatható különbség. Külön csoportot alkotott a $V12_{(120)}$, $V6_{(150)}$ és a $V12_{(180)}$ kezelés, melyek egymástól nem, azonban minden más műtrágya-kezeléstől szignifikánsan különböztek. A legnagyobb SPAD értéket (52,25) a $V12_{(180)}$ kezelésben, azaz a legnagyobb dózisú 120 kg N ha^{-1} alap-+30+30 kg N ha^{-1} fejtrágya mellett mértük. A $V12_{(120)}$ kezelés szignifikánsan, átlagosan 1,69 SPAD értékkel növelte a klorofill-koncentrációt az $A_{(120)}$ kezeléshez képest. Ezek alapján a 60 kg N ha^{-1} alap- +30 +30 kg N ha^{-1} fejtrágya jobban hasznosult öntözetlen körülmények között, mint a 120 kg N ha^{-1} alaptrágya.

A post hoc teszt által is igazolt módon a növény növekedésével növekedett a klorofill-koncentráció a levelekben, a legkisebb SPAD értéket (45,34) 6 leveles állapotban mértük. A 12 leveles állapotban mért relatív klorofill-koncentrációk statisztikailag igazolhatóan 2,65 SPAD értékkel voltak nagyobbak, mint a 6 leveles állapotban mért értékek. A legnagyobb értéket az R1 fenofázisban mértük, mely szignifikánsan nagyobb volt, mint a másik két fenológiai fázisban mért érték.

Vizsgáltuk a fenológiai fázis és műtrágyázás hatását a SPAD értékekre. A vegetációs idő előrehaladtával a relatív klorofilltartalom a levelekben növekedett, így az eltérő fenológiai fázisokban azonos kezelés mellett is emelkedik a növény fejlődésével a klorofill-koncentráció. A post hoc teszt alapján minden műtrágya-kezelés különbözik a kezeletlen kontroll parcelláktól mindhárom fenológiai fázisban. A grafikonon jól látható, hogy a fenológiai fázis jobban befolyásolta a klorofill-koncentrációkat, mint a műtrágyázás. A legkisebb SPAD értéket (43,81) 6 leveles állapotban $A_{(0)}$ kezelés mellett mértük, ami nem különbözött szignifikánsan az $A_{(60)}$, $A_{(120)}$, $V6_{(90)}$ műtrágya-kezelésektől. Külön csoportot alkot 6 leveles fenológiai fázisban a $V12_{(180)}$, a $V6_{(150)}$ és a $V12_{(120)}$ kezelés, ez a csoport statisztikailag igazolhatóan különbözik a műtrágyázatlan kontroll parcelláktól. 12 leveles állapotban a legkisebb SPAD értéket (45,55) a műtrágyázatlan parcellákon mértük. Ez az érték nem különbözik szignifikánsan a szintén 12 leveles állapotban mért $A_{(60)}$, $A_{(120)}$ és $V6_{(90)}$ kezelésektől. A $V6_{(150)}$, $V12_{(120)}$ és $V12_{(180)}$ kezelés csoport azonban statisztikailag igazolhatóan nagyobb volt, mint az $A_{(60)}$, $A_{(120)}$ és $V6_{(90)}$ kezelés csoport. A $V6_{(150)}$, $V12_{(120)}$ és $V12_{(180)}$ kezelés csoport 12 leveles állapotban mért értékei azonban nem különböztek az R1 fázisban a kontroll parcellákon mért értékektől (4. ábra). A nagyobb SPAD értékeket 50%-os nővirágzásban mértük, kivéve a műtrágyázatlan kontroll parcellákat. A legnagyobb SPAD

értéket (58,85) a V₆₍₁₅₀₎ kezelés mellett kaptuk, amely nem különbözött szignifikánsan V₁₂₍₁₈₀₎, V₁₂₍₁₂₀₎, A₍₁₂₀₎, és a V₆₍₉₀₎ kezelésektől, azaz egy csoportot alkottak a Student – Newman – Keuls tesztben. Az R1 fenofázisban ettől a csoporttól szignifikánsan eltért az A₍₆₀₎ kezelés. Ebben a műtrágya-kezelésben mért értékek (55,26) tartoztak a *Piekielek et al.* (1995) által ajánlott maximális 52-56 SPAD érték tartományba, amikor a kukoricának már nincs válaszreakciója a többlet nitrogén trágya hatására. Azaz ez a kezelés tekinthető ebben az évjárásban öntözetlen körülmények között a legjobbnak.



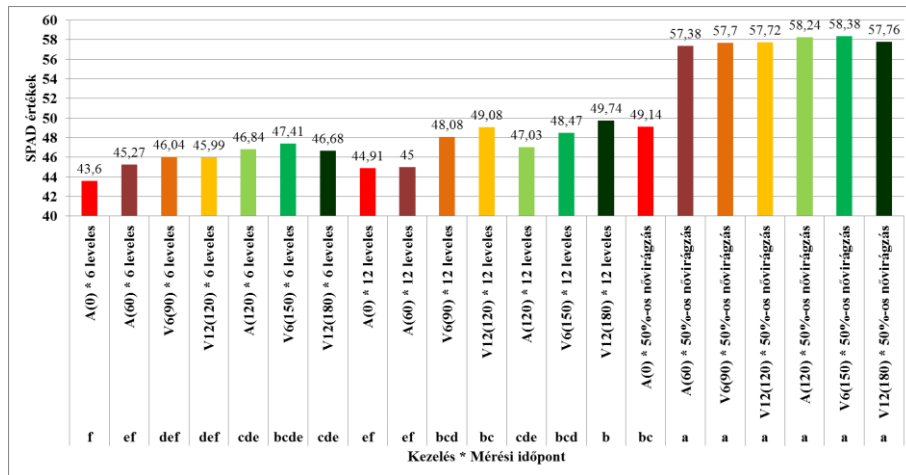
4. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözetlen körülmények között genotípusok átlagában (Látókép, 2012)

A 2012-es évjárásban öntözött körülmények között az alap- és fejtrágyázás, a fenológiai fázis, valamint ezek kölcsönhatásai is 0,1% szignifikancia szinten befolyásolták a kukorica relatív klorofill-koncentrációját. A Student – Newman – Keuls teszt alapján a mért SPAD érték minden műtrágyakezelésben szignifikánsan ($P < 0,001$) nagyobb volt, mint a kezeletlen parcellán. Az A₍₆₀₎ műtrágya-kezelés volt statisztikailag elkülöníthető a többi kezeléstől. A V₆₍₁₅₀₎, V₁₂₍₁₈₀₎, V₁₂₍₁₂₀₎, A₍₁₂₀₎ és V₆₍₉₀₎ kezelés nem különbözött szignifikánsan egymástól.

A legnagyobb SPAD értéket R1 fenológiai fázisban mértük (54,95), ez szignifikánsan ($P < 0,001$) nagyobb volt a többi fenológiai fázisban mért értékektől. A legkisebb statisztikailag is igazolt SPAD értékeket 6 leveles állapotban (45,45) mértük.

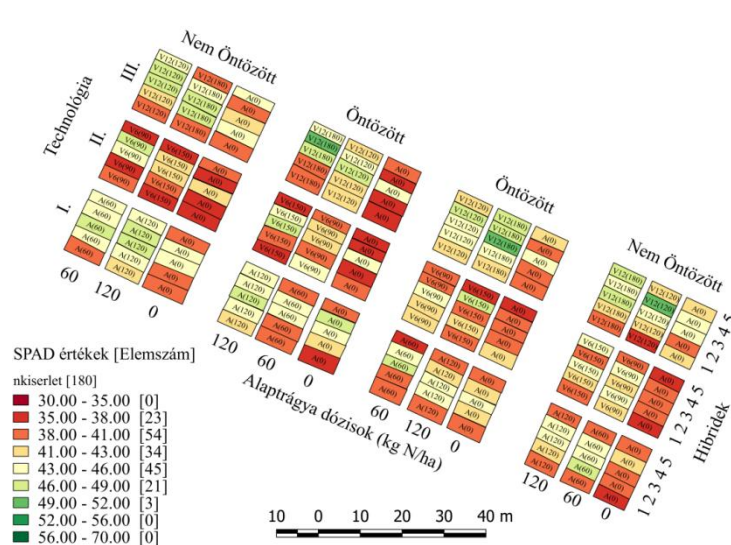
A műtrágyázás és a fenológiai fázis kapcsolata is hatással volt a SPAD értékekre, a nagyobb értékeket R1 fenofázisban mértük. A legkisebb SPAD értéket 6 leveles állapotban A₍₀₎ kezelés mellett figyeltük meg, amely nem különbözött szignifikánsan a 6 leveles állapotban mért A₍₆₀₎, V₆₍₉₀₎ és V₁₂₍₁₂₀₎ kezeléstől. A műtrágyázott kezelések, azaz az A₍₆₀₎, V₆₍₉₀₎, A₍₁₂₀₎, V₁₂₍₁₂₀₎, V₆₍₁₅₀₎ és V₁₂₍₁₈₀₎ kezelések ebben a fázisban nem különböztek egymástól. 12 leveles állapotban az A₍₀₎, A₍₆₀₎ és A₍₁₂₀₎ kezelés között igazolható különbség

nem volt kimutatható. Azonban ebben a fenológiai fázisban a fejtrágyázott, azaz a V₆₍₉₀₎, V₁₂₍₁₂₀₎, V₆₍₁₅₀₎ és V₁₂₍₁₈₀₎ műtrágya-dózissal kezelt parcellákon statisztikailag igazolhatóan nagyobb SPAD értékeket mértünk, mint az A₍₀₎ kezelés mellett. Az R1 fenológiai fázisban a műtrágya-kezelések statisztailag igazolhatóan (P<0,001) különböztek a kontroll parcellán mért SPAD értékektől, így nyílt a „SPAD – olló”, azonban a műtrágya-dózisok között nem volt kimutatható a különbség (5. ábra). A legnagyobb SPAD érték V₆₍₁₅₀₎ kezelés mellett volt (58,38).



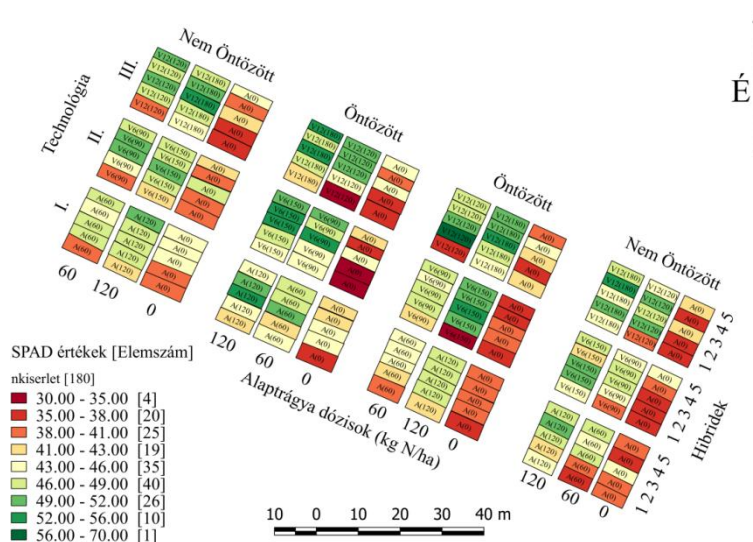
5. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözött körülmények között genotípusok átlagában (Látókép, 2012)

A 2013-as évjáratban - 6 leveles fenológiai fázisban - a műtrágyázatlan kontroll parcellákon kisebb SPAD értéket mértünk, mint a műtrágyával kezelt parcellákon (6. ábra). Azonban a 60 kg N ha⁻¹ alaptrágya kezelése kevésbé különböztek a kontroll parcelláktól, mint a 120 kg N ha⁻¹ alaptrágyával kezelt parcellák.



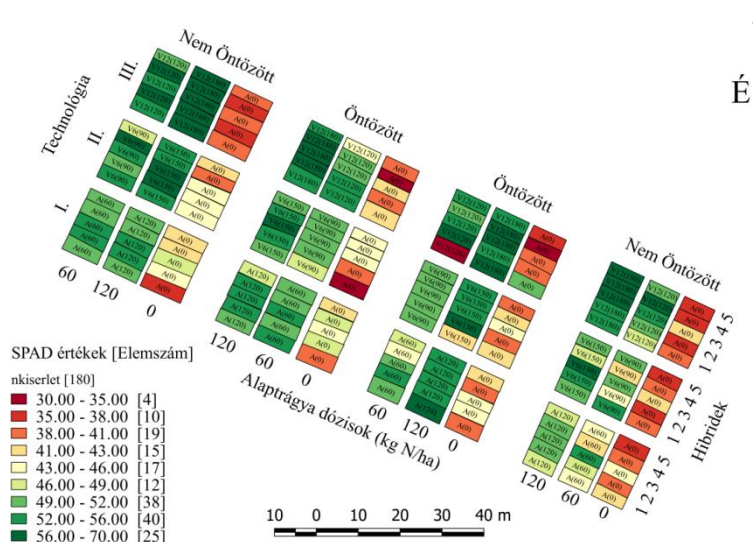
6. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 6 leveles állapotban (Látókép, 2013)

A 12 leveles fenológiai fázisban a kontroll és a fejtrágyázás kezelések közötti különbség növekedett, így megfigyelhető a 6 leveles állapotban kijuttatott fejtrágya hatása is (7. ábra). A műtrágyázott parcellákon a legkisebb relatív klorofilltartalom az A₍₆₀₎, a legnagyobb a V12₍₁₈₀₎ fejtrágya-kezelésnél volt.



7. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 12 leveles állapotban (Látókép, 2013)

Az R1 fenofázisban már a térképen is megfigyelhető a 12 leveles állapotban kijuttatott fejtrágya SPAD érték növelő hatása a kontrollhoz képest (8. ábra). A 120 kg N ha⁻¹ + 60 kg N ha⁻¹ + 60 kg N ha⁻¹ jól megkülönböztethető ebben a fenofázisban a többi műtrágya-kezeléstől.



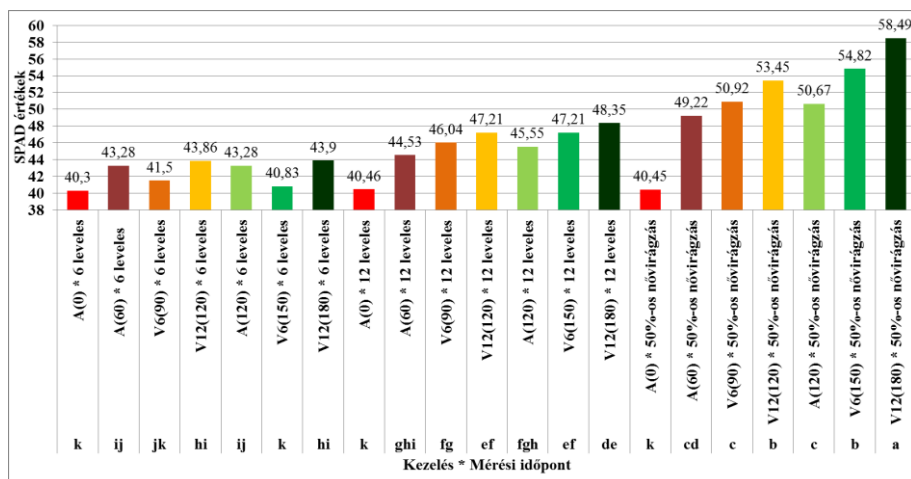
8. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 50 %-os nővirágzás állapotban (Látókép, 2013)

A statisztikai elemzés során az alap- és fejtrágyázás hatását külön vizsgáltuk öntözetlen és öntözött körülmények között a relatív klorofilltartalomra. Az *öntözetlen* parcellákon a műtrágya-kezelések, a fenológiai fázisok, valamint ezek kölcsönhatásai is szignifikánsan ($P < 0,001$) befolyásolták a levél klorofilltartalmakat.

A post hoc teszt eredményei alapján megállapítható, hogy a legnagyobb SPAD értéket $V12_{(180)}$ kezelés mellett mértük (50,25). Ettől szignifikánsan kisebb értéket (2,08) mértünk a $V12_{(120)}$ kezelésnél. A $V12_{(120)}$ és $V6_{(150)}$ között nem volt statisztikailag kimutatható különbség. Azonban minden műtrágya-kezelésben mért érték szignifikánsan különbözött a műtrágyázatlan kontroll parcellákon mért átlagos értékektől.

Az ismételt mérési modell eredménye alapján a növény növekedésével nőtt a klorofill-koncentráció a levelekben, a legkisebb értéket 6 leveles állapotban mértük (41,95). A 12 leveles állapotban mért értékek 2,53-al voltak nagyobbak, mint a 6 leveles állapotban mért értékek. A legnagyobb, SPAD értéket (48,77) 50%-os nővirágzaskor mértük, mely szignifikánsan nagyobb volt a másik két fenológiai fázisban mért relatív klorofilltartalomnál.

A fenológiai fázis és műtrágyázás interakciója is szignifikánsan ($P < 0,001$) befolyásolta a SPAD értékeket. A legkisebb SPAD értéket (40,3) 6 leveles állapotban $A_{(0)}$ kezelés mellett, azaz műtrágyázatlan kontroll parcellákon figyeltük meg. Ettől az értéktől, ebben a fenofázisban az $A_{(60)}$, $A_{(120)}$, $V12_{(120)}$, és $V12_{(180)}$ kezelés csoportban mértünk nagyobb relatív klorofill-koncentrációt, a csoport tagjai között nem volt igazolható különbség. 12 leveles állapotban az $A_{(0)}$ kezelésben szignifikánsan kisebb SPAD értéket mértünk, mint a különböző műtrágya-kezelésekben. Nagyobb értékeket R1 fenofázisban mértünk, ezek közül kivételt képez a műtrágyázatlan kontroll, ami gyakorlatilag igazolhatóan nem változott a vegetációs időszak folyamán (9. ábra). Így a kontroll és a műtrágyázott kezelések nyitották a „SPAD – ollót”. Legnagyobb értéket (58,49) R1 fázisban, a $V12_{(180)}$ kezelés mellett mértük. Ettől szignifikánsan kisebb értéket mértünk $V6_{(150)}$ kezelés mellett 50%-os nővirágzásban (54,82), ami nem különbözött szignifikánsan a $V12_{(120)}$ kezelés mellett mért relatív klorofilltartalomtól (54,45). Külön csoportot alkotott a post hoc teszt szerint $V6_{(90)}$ és az $A_{(120)}$ kezelés, amelyben szignifikánsan kisebb SPAD értékeket figyeltünk meg. Az $A_{(60)}$ kezelés nem volt elkülöníthető sem a $V6_{(90)}$, sem pedig az $A_{(120)}$ kezeléseket R1 fázisban mért SPAD értékeiktől, valamint a $V12_{(180)}$ kezelés 12 leveles állapotban mért értékeitől. Ez azzal magyarázható, hogy a $V12_{(180)}$ kezelésre 12 levelesen már 120 kg N ha^{-1} alap- és 30 kg N ha^{-1} fejtrágyát juttattunk ki.



9. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözetlen körülmények között genotípusok átlagában (Látókép, 2013)

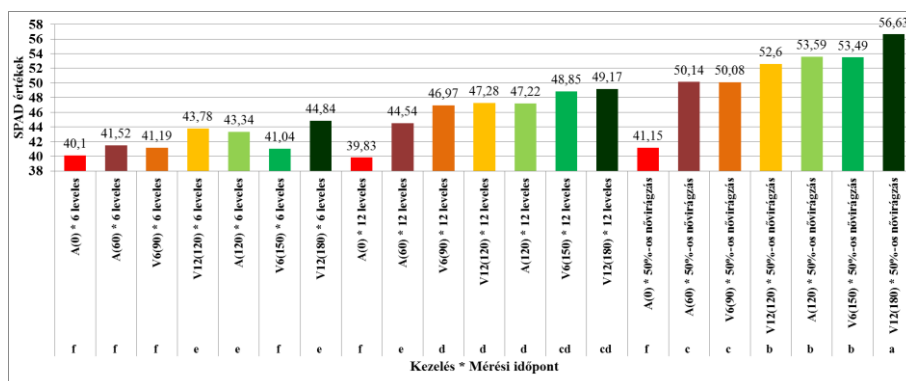
Öntözött körülmények között **2013-ban** a műtrágya-dózisok, a fenológiai fázis, valamint ezek kölcsönhatásai is 0,1% szignifikancia szinten befolyásolták a kukorica levél relatív klorofill-koncentrációját.

Ebben az évben öntözött kezelésben a legnagyobb SPAD értéket (50,21) a V12₍₁₈₀₎ kezelés, azaz a legnagyobb műtrágya-dózis mellett mértük, ez az érték igazolhatóan ($P < 0,001$) különbözött az összes kezeléstől. Az A₍₁₂₀₎, V12₍₁₂₀₎ és V6₍₁₅₀₎ kezelések között nem volt statisztikailag kimutatható különbség. Külön csoportot képeznek a kisebb alpműtrágya-dózisú V6₍₉₀₎ és A₍₆₀₎ műtrágya-kezelések. A legkisebb SPAD értéket a műtrágyázatlan kontroll parcellán mértük (40,36).

A fenológiai fázis is igazolhatóan, 0,1% szignifikancia szint mellett befolyásolta a mért SPAD értéket, R1 fenofázisban mértük a legnagyobbat (48,89) 2013-ban az öntözött parcellákon. Az egyes fenológiai fázisokban mért SPAD értékek igazolhatóan különböztek egymástól, a legkisebb érték 6 leveles állapotban (41,78) volt

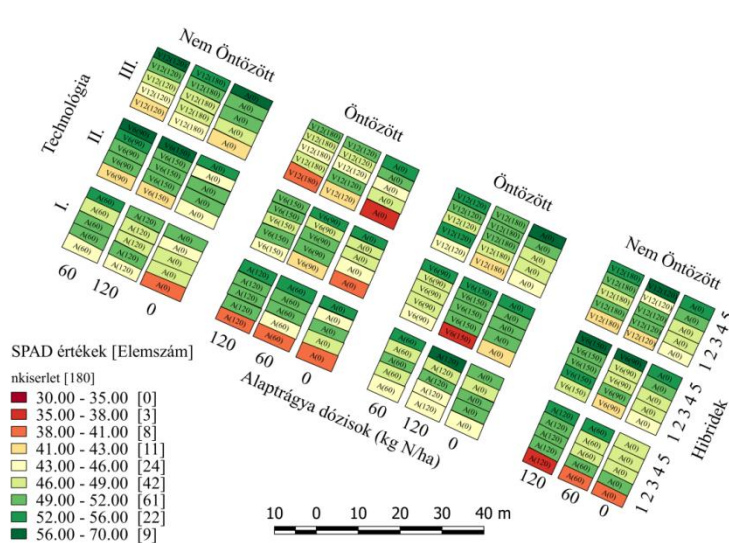
A műtrágyázás és a fenológiai fázis interakciója is igazolhatóan befolyásolta a SPAD értéket. A vegetációs periódus előre haladásával a műtrágyázott parcellákon nagyobb SPAD értéket mértünk a kontroll parcellákhoz képest, azaz a „SPAD – olló” nyílik. A legkisebb SPAD értéket 6 leveles fenofázisban mértük, ahol az A₍₀₎, A₍₆₀₎, V6₍₉₀₎ és V6₍₁₅₀₎ kezelések nem voltak elkülöníthetők sem egymástól, sem a 12 leveles és R1 fenofázisban a kontroll parcellákon mért értékektől. 6 leveles állapotban az A₍₁₂₀₎, V12₍₁₈₀₎ kezelés és 12 leveles állapotban az A₍₆₀₎ kezelés mellett mért SPAD értékek között sem volt kimutatható különbség, azonban szignifikánsan különböztek a többi csoporttól. A legnagyobb SPAD értéket R1 fenológiai fázisban a legnagyobb műtrágya-dózisú V12₍₁₈₀₎ kezelés mellett tapasztaltuk (56,63).

R1 fenofázisban az A₍₁₂₀₎, V12₍₁₂₀₎ és V6₍₁₅₀₎ kezelés külön csoportot alkotott és szignifikánsan különbözött a többi fenofázisban mért relatív klorofilltartalomtól (10. ábra).



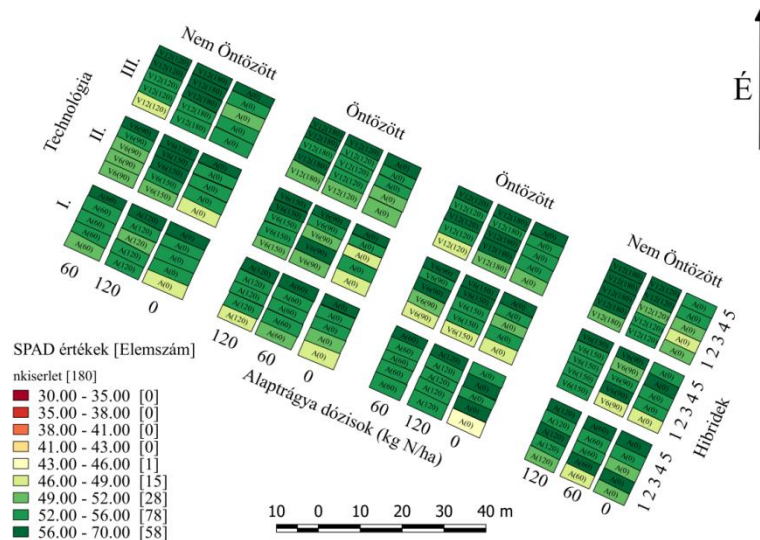
10. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözött körülmények között genotípusok átlagában (Látókép, 2013)

2014-ben – 6 leveles fenológiai fázisban – a műtrágyázatlan kontroll parcellákon kisebb SPAD értéket mértünk, mint a műtrágyával kezelt parcellákon (11. ábra). Leginkább a V6₍₁₅₀₎ és V6₍₉₀₎ fejtrágya-kezelésű parcellákon mért eredmények különíthetők el a kontroll parcelláktól. Az A₍₁₂₀₎ kezelés mellett viszont nem találtunk különbséget a kontroll parcellákhoz képest.



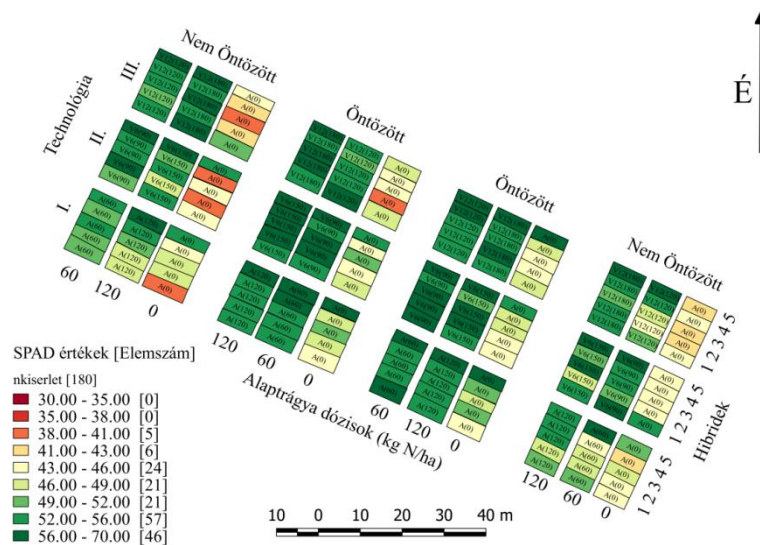
11. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 6 leveles állapotban (Látókép, 2014)

A 12 leveles fenológiai fázisban a kontroll és a fejtrágyázás kezelések közötti különbség már látható, mivel itt már a 6 leveles állapotban kijuttatott fejtrágya hasznosult (12. ábra). A legnagyobb értékeket V12₍₁₈₀₎ kezelés mellett figyeltük meg, és ebben a kezelésben a többi kezeléshez viszonyítva kiugróan nagy SPAD értékeket mértünk.



12. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 12 leveles állapotban (Látókép, 2014)

Az *RI* fenofázisban a $V_{6(90)}$ műtrágya-kezelés mellett 12 leveles állapothoz képest tovább növekednek a mért SPAD értékek. Azonban minden más kezelésben csökkenés tapasztalható a SPAD értékekben, a legnagyobb mértékű csökkenést az $A_{(0)}$ kezelés mellett figyeltük meg. A $V_{6(90)}$ kezelésben a mért értékek hasonlóak a legnagyobb dózisú műtrágyával kezelt $V_{12(180)}$ kezelésben megfigyelt értékekhez (13. ábra).



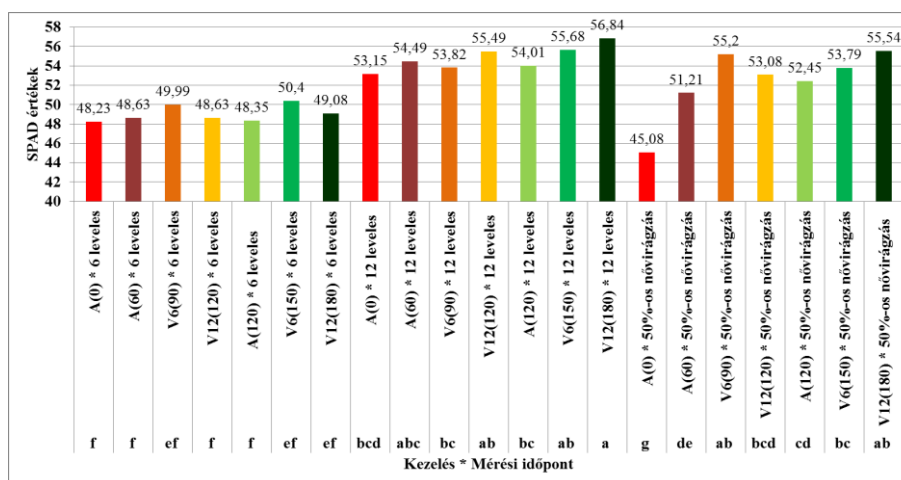
13. ábra: SPAD értékek térbeli eloszlása 50 %-os nővirágzás állapotban (Látókép, 2014)

A statisztikai modell eredményei alapján a műtrágya-dózisok, fenológiai fázisok, valamint ezek kölcsönhatásai is 0,1% szignifikancia szinten befolyásolták a mért SPAD értékeket *öntözetlen* körülmények mellett. A post hoc teszt eredménye alapján a legnagyobb SPAD értéket ebben az évben – öntözetlen körülmények között – a $V_{12(180)}$ kezeléssel kaptuk (53,82), amely szignifikánsan nagyobb volt, mint az $A_{(120)}$, $A_{(60)}$ és $A_{(0)}$ kezelés SPAD értéke. A $V_{6(150)}$, $V_{6(90)}$ és $V_{12(120)}$ műtrágya-kezelés mellett mért értékek nem különböztek

szignifikánsan a V12(180), az A(120) és A(60) kezeléstől sem. A legkisebb statisztikailag is igazolható SPAD értéket (48,82) a kezeletlen kontroll parcellákon mértük.

A fenológiai fázis is befolyásolta a SPAD értékeket. A legkisebb igazolható SPAD értékeket 6 leveles állapotban (48,86) mértük. A kukorica növény növekedésével nőtt a levelek klorofill-koncentrációja, a legnagyobb értéket 12 leveles állapotban érte el (54,42). Az 50%-os nővirágzás időpontjára azonban szignifikánsan ($P < 0,001$) csökkent a levelek klorofill-koncentrációja (50,72). Ez a jelenség a növény száradására utal, mivel a júniusi 6,7 mm csapadék még a kijuttatott 35,5 mm öntözővízzel is kevésnek bizonyult.

2014-ben szárazgazdálkodásban a SPAD értékek a 6 leveles állapottól, a 12 leveles állapotig növekedtek, majd a V6(90) kezelés kivételével minden műtrágya-kezelésben és a kontroll parcellán is csökkentek. A legnagyobb klorofill-koncentrációt 12 leveles állapotban a V12(180) kezelés, azaz a legnagyobb műtrágya-dózis mellett mértük (56,84). Azonban a V12(180) kezelés mellett az értékek nem különböztek szignifikánsan sem a 12 leveles állapotban, a V6(150), V12(120), A(60); sem az R1 fázisban a V12(180) és V6(90) kezelés mellett mért értékektől. Az A(60), A(120), V6(90), A(0) kezelések 12 leveles állapotban mért értékei szignifikánsan kisebbek voltak, mint a V12(180) kezelés SPAD értékei. 6 leveles állapotban különböző műtrágya-kezelések mellett mért értékek nem voltak statisztikailag elkülöníthetőek egymástól (14. ábra). A legkisebb értékeket a műtrágyázatlan kontroll parcellákon, azonban az előző két évtől eltérően nem 6 leveles állapotban, hanem R1 fázisban mértünk (45,08). Ezek szignifikánsan különböztek a többi fenofázisban más kezelések mellett mért értékektől, valamint átlagosan 3,15 SPAD értékkel voltak kisebbek, mint az A(0) kezelés 6 leveles állapotban mért értékei.



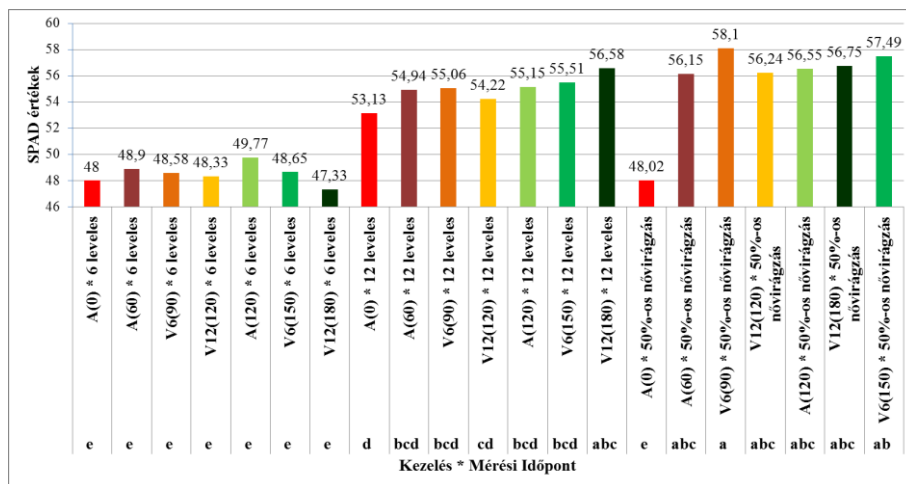
14. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözetlen körülmények között (Látókép, 2014)

Öntözött körülmények között a műtrágya-kezelések, a fenológiai fázis és ezek interakciója is statisztikailag igazolhatóan ($P < 0,001$) befolyásolta a SPAD értékeket.

Ebben az évjáratban öntözés mellett az eltérő műtrágya-dózisok között nem volt kimutatható különbség. A kezeletlen kontroll parcelláktól szignifikánsan különböztek a műtrágyázott parcellák.

A legkisebb SPAD értéket (48,39) a többi évjáratához hasonlóan 6 leveles állapotban mértük. A többi évjáratától eltérően azonban a legnagyobb SPAD értéket (54,54) itt, a 12 leveles állapotban figyeltük meg, ez az érték szignifikánsan különbözött a másik két időpontban mért értéktől. Az R1 fenofázisban visszaesést tapasztaltunk.

A műtrágya-dózisok és a fenológiai fázis interakciója is befolyásolta a SPAD értékeket, a V6 fenofázisban a kezelések között nem volt statisztikailag igazolható különbség (15. ábra). A 12 leveles állapotban $A_{(0)}$, $V_{12(120)}$, $A_{(60)}$, $V_{6(90)}$, $A_{(120)}$, $V_{6(150)}$ kezelés mellett mért értékek egymástól nem voltak elkülöníthetőek. Ebben a fenofázisban csak $V_{12(180)}$ műtrágya-kezelésben figyeltünk meg statisztikailag is igazolhatóan nagyobb SPAD értékeket, mint az $A_{(0)}$ kezelés mellett. Az R1 fenofázisban minden műtrágya-kezelésnél szignifikánsan nagyobb levél relatív klorofill-koncentrációkat mértünk, mint a kezeletlen kontroll parcellákon. A műtrágya-kezelések között R1 fenofázisban nem volt kimutatható különbség, a legnagyobb SPAD értéket (58,1) $V_{6(90)}$ kezelés mellett figyeltük meg.



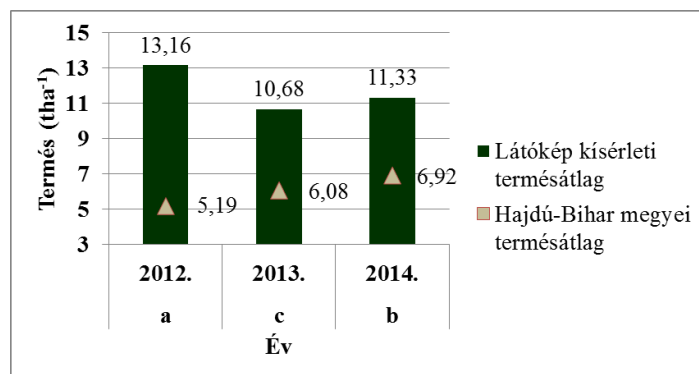
15. ábra: A műtrágyázás és a fenológiai fázis hatása a SPAD értékekre öntözött körülmények között genotípusok átlagában (Látókép, 2014)

3.2. AZ ALAP- ÉS FEJTRÁGYÁS, VALAMINT ÉVJÁRAT HATÁSA A KUKORICATERMÉSRE

Ismételt mérési modell segítségével elemeztük a kapcsolatot a műtrágyázás, az évjárathatás és a termés között. A műtrágyázás és az évjázat hatása 0,1%-os szignifikancia szint mellett volt kimutatható a termésre, míg a két tényező kölcsönhatása nem érvényesült. *Berenguer et al.* (2008) négy éves kísérleti eredményeihez hasonlóan, a hároméves kísérletünkben az évjázat és a műtrágyázás befolyásolta a kukorica termését, azonban tőle eltérően a műtrágyázás és az évjázat interakciójának nem volt szignifikáns hatása a termésre.

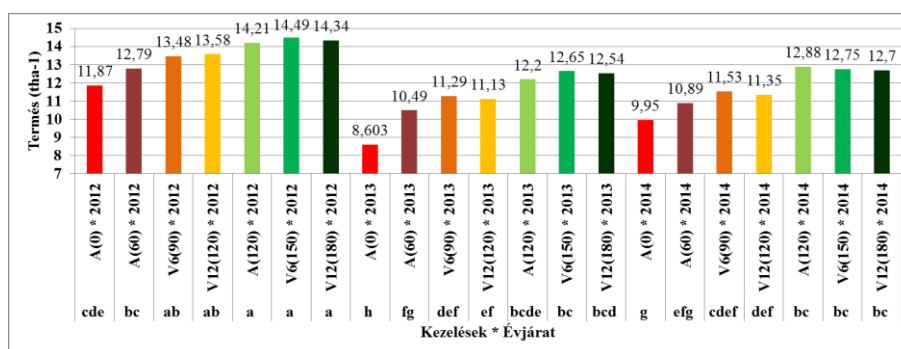
Mind a hat műtrágya-kezelés szignifikánsan ($P < 0,001$) különbözött a nem műtrágyázott kezeléstől, hasonlóan *Rátonyi et al.* (2014) eredményeihez. A legnagyobb termést három év átlagában, 13,3 t ha⁻¹-t a V6₍₁₅₀₎ kezelés, azaz 120 kg N ha⁻¹ alap- + 30 kg N ha⁻¹ fejtrágya-kezelés mellett érték el. Ez szignifikánsan különbözött a 60 kg N ha⁻¹ alaptrágya kezeléstől. A V12₍₁₈₀₎, A₍₁₂₀₎, V6₍₉₀₎ és a V12₍₁₂₀₎ kezelések nem különböztek szignifikánsan a V6₍₁₅₀₎ és az A₍₆₀₎ kezeléstől. Ez a tendencia, miszerint a nitrogén műtrágya mennyiségének növelése egy bizonyos dózis felett nem növeli a termést, hasonló *Vad és Dóka* (2009), valamint *Dóka és Pepó* (2007) kísérleti eredményeihez.

Mindhárom vizsgált év szignifikánsan ($P < 0,001$) különbözött egymástól, a legnagyobb termést – a kezelések átlagában – 2012-ben mértük. Ez aszályos évjázat volt, azonban a május, június és júliusi csapadék több volt, mint a sokéves átlag, ami hozzájárult a 13,2 t ha⁻¹-os termésátlag eléréséhez, ez 8,01 t ha⁻¹ több, mint a Hajdú-Bihar megyei termésátlag (KSH, 2017). A vizsgált évek közül a második legnagyobb termést 2014-ben mértük, amely a kísérlet átlagban 11,3 t ha⁻¹, ami 4,41 t ha⁻¹-ral több volt, mint a megyei termésátlag (KSH, 2017). Az év júliusában a sokéves csapadék több mint kétszerese hullott, így kismértékben csökkentette az aszályos június hatását a termésre. A legkisebb termés (10,7 t ha⁻¹) 2013-ban volt, ez év májusában a sokéves átlaghoz képest majdnem 30%-kal több csapadék hullott, azonban az ezt követő erős aszály és a megkésett, virágzás utáni öntözés jelentős mértékben negatívan befolyásolta a termést. A 2013 évi kísérleti termésátlag 4,6 t ha⁻¹-ral nagyobb volt, mint a megyei átlag (16. ábra).



16. ábra: A vizsgált évjáratok hatása a termésre genotípusok és N-műtrágya kezelés átlagában öntözetlen körülmények között ($t\ ha^{-1}$) (Látókép, 2012–2014; KSH, 2017)

Az évjárat és a műtrágyázás közötti interakció nem volt szignifikáns öntözetlen körülmények között, azonban a vizsgált évek összegzésére alkalmas az interakció grafikon (17. ábra). A három vizsgált évből 2012-ben és 2013-ban a $V6_{(150)}$ kezelés bizonyult a legjobbnak termés szempontjából, azonban nem különbözött szignifikánsan az $A_{(120)}$ kezeléstől. A három vizsgált évben a fejtrágyázásnak a $120\ kg\ N\ ha^{-1}$ alaptrágya felett nem volt hatása a termésre, azonban a három vizsgált évben *Berényi et al.* (2007) eredményeihez hasonlóan a $120\ kg\ N\ ha^{-1}$ alaptrágya igazolható termésnövekedést adott.



17. ábra: Az alap- és fejtrágyázás, valamint az évjárat hatása a termésre genotípusok átlagában öntözetlen körülmények között ($t\ ha^{-1}$) (Látókép, 2012–2014)

3.3. RELATÍV KLOROFILLTARTALOM ÉS A TERMÉS KAPCSOLATÁNAK VIZSGÁLATA

Tekintettel arra, hogy több kutató (*Schepers et al.*, 1992; *Piekielek és Fox*, 1992; *Berzsenyi és Lap*, 2003a; *Ványiné*, 2008; *Ványiné és Nagy*, 2012) a SPAD-502 műszert alkalmasnak találta a levél SPAD érték alapján termés becslésére és a kukorica N-ellátottságának megfigyelésére a tenyészidőszakban, ennek megfelelően mi is regresszióanalízist végeztünk a különböző fenológiai fázisokban mért kukorica levél klorofill-koncentrációk és a termés között.

3.4. A KÜLÖNBÖZŐ FENOLÓGIAI FÁZISOKBAN MÉRT SPAD ÉRTÉKEK ÉS A TERMÉS KAPCSOLATA

A vizsgált három év átlagában az egyes fenológiai fázisokban mért SPAD értékek és a termés kapcsolata a 6 leveles állapotban gyenge volt. Az öntözött változatban mért értékek erősebb kapcsolatot mutattak, mint az öntöztelen változatban. A 12 leveles állapotban mért eredmények hasonlóan gyenge kapcsolatot mutattak. Itt azonban az öntöztelen változat kapcsolata erősebb volt, mint az öntözötté. Az R1 fenofázisban közepesen szoros kapcsolat volt a SPAD értékek és a termés között. Ebben a fenofázisban a nem öntözött parcellák jobban befolyásolták a mért terméseredményeket, mint az öntözött parcellák. Nagy (2010) eredményeihez hasonlóan gyenge volt a kapcsolat a relatív klorofilltartalom és a termés között az öntöztelen változatban, azonban vele ellentétben az öntözött változatban is gyenge kapcsolat volt a SPAD értékek és a termés között.

3.4.1. *Eltérő fenológiai fázisokban mért SPAD értékek és a termés kapcsolata 2012-ben*

A 6 leveles állapotban – öntöztelen körülmények között – mért SPAD értékek és a termés között **2012**-ben gyenge ($r=0,372$) volt a kapcsolat, a mért kukorica levél klorofill-koncentrációk 13,9%-ban befolyásolták a terméseredményeket ($P<0,001$). Öntözött körülmények között 6 leveles állapotban mért SPAD értékek és a termés között közepesen szoros volt a kapcsolat ($r=0,583$). A SPAD értékek 33,9%-ban befolyásolták ($P<0,001$) a terméseredményeket.

Öntöztelen körülmények között V12 fenofázisban mért SPAD értékek és a termés között gyenge volt a kapcsolat ($r=0,361$), ebben a fenológiai fázisban mért SPAD értékek 13%-ban befolyásolták ($P<0,001$) a termést. Öntözés mellett a 12 leveles állapotban mért SPAD értékek gyenge ($r=0,366$) kapcsolatban álltak a hozamokkal, és 13,4%-ban befolyásolták ($P<0,001$) a terméseredményeket.

Öntöztelen körülmények között R1 fenofázisban mért SPAD értékek és a terméseredmények között gyenge ($r=0,398$) kapcsolatot figyeltünk meg, a mért értékek 15,9%-ban befolyásolták ($P<0,001$) a terméseredményeket. Öntözött körülmények között R1 fenofázisban 0,1%-os szignifikancia szint mellett közepesen szoros ($r=0,441$) kapcsolat volt a termés és a SPAD értékek között. A mért SPAD értékek 19,5%-ban befolyásolták a terméseredményeket. Ez az érték elmarad Berzsényi és Lap (2003a) R1 fenofázisban 5 év átlagában mért 30,4-36,8%-os r^2 eredményeitől, azonban Blackmer és Schepers (1996) eredményeitől nagyobb mértékű kapcsolatot mutattunk ki.

3.4.2. Eltérő fenológiai fázisokban mért SPAD értékek és a termés kapcsolata 2013-ban

A 2013-as évjáratban 6 leveles állapotban öntözetlen körülmények között 0,1%-os szignifikancia szint mellett, közepesen szoros ($r=0,447$) kapcsolatot mutattunk ki a SPAD értékek és a kukorica termése között. A SPAD értékek 19,9%-ban befolyásolták a kukorica termését. Öntözött körülmények között 6 leveles állapotban közepesen szoros ($r=0,445$) kapcsolat volt a SPAD értékek és a terméseredmények között. A mért SPAD értékek 0,1%-os szignifikancia szint mellett 19,8%-ban befolyásolták a termést.

Szárazgazdálkodásban 12 leveles állapotban a SPAD értékek és a termés kapcsolata szoros volt ($r=0,781$). A mért klorofill-koncentrációk 61%-ban ($P<0,001$) befolyásolták a kukorica termését. A 12 leveles állapotban öntözött változatban mért kukorica levél klorofill-koncentrációk szoros ($r=0,692$) korrelációt mutattak a terméssel. A SPAD értékek 0,1%-os szignifikancia szint mellett 48%-ban befolyásolták a termést.

Öntözetlen körülmények között 50%-os nővirágzásban mért SPAD értékek közepes ($r=0,653$) kapcsolatban voltak a terméseredményekkel ($P<0,001$). A mért klorofill-koncentrációk 42,7%-ban befolyásolták a kukorica termését. Az R1 fenofázisban öntözött változatban közepesen szoros ($r=0,572$) kapcsolatot mutatott ki a regresszióanalízis a hozamok és a kukorica klorofill-koncentrációja között ($P<0,001$). A SPAD értékek 32,8%-ban befolyásolták a termést. Ezek az értékek hasonlóak *Berzsényi és Lap* (2003a) R1 fenofázisban 5 év átlagában mért 30,4-36,8%-os r^2 eredményeihez.

3.4.2. Eltérő fenológiai fázisokban mért SPAD értékek és a termés kapcsolata 2014-ben

A vizsgált évjáratban 6 leveles fenológiai fázisban sem az öntözött, sem az öntözetlen változatban nem volt statisztikailag igazolható kapcsolat a kukorica levelek relatív klorofill-koncentrációja és a termés között.

Öntözetlen körülmények között 12 leveles fenofázisban 5%-os szignifikancia szint mellett igen gyenge ($r=0,184$) kapcsolat volt a SPAD értékek és a kukorica termése között. A mért relatív klorofill-koncentrációk 3,4%-ban befolyásolták a kukorica hozamát.

A 2014-es évjáratban öntözés mellett a 12 leveles állapotban mért SPAD értékek és a terméseredmények között gyenge ($r=0,203$) volt a kapcsolat ($P<0,05$). A kukorica levél relatív klorofill-koncentrációja 4,1%-ban befolyásolta a termést.

Az 50%-os nővirágzás állapotban, öntözetlen változatban a SPAD értékek és termés között igen gyenge ($r=0,203$) kapcsolatot találtunk ($P<0,05$). A mért kukorica levél relatív klorofill-koncentrációk 4,1%-ban befolyásolták a hozamot. Öntözött változatban R1 fenofázisban

gyenge ($r=0,286$) kapcsolat volt a mért SPAD értékek és a kukorica termése között. A vizsgált levél klorofill-koncentrációk 1%-os szignifikancia szint mellett 8,2%-ban befolyásolták a hozamot. Ez az összefüggés eredmény mind az öntözött, mind az öntözetlen változatban hasonló tendenciát mutat *Blackmer és Schepers* (1996) alacsony ($r^2=0,05$) korrelációs koefficiens eredményéhez, azonban ez az eredmény ellentétes *Piekeley és Fox* (1992), valamint *Berenguer et al.* (2009) eredményeivel.

3.5. N-TRÁGYÁZÁSI SZAKTANÁCSADÁS REFERENCIA TERÜLETEKEN MÉRT SPAD-MÉRÉSEK ALAPJÁN

A nitrogén műtrágyázás környezetterhelése legnagyobb a makroelemek közül. A túlzott nitrogéntrágyázás szennyezi a talajvizet, a felszíni vizekben eutrofizációt okozhat. A nitrogén helyes adagolása biztosítja a gazdaságos hozamokat, a lehető legkisebb környezetterhelés mellett.

Kutatásunk végső célja a gazdálkodók döntéstámogatása volt. Több kutató (*Schröder et al.*, 2000; *Pakurár et al.*, 2003; *Ványiné*, 2008) által leírt referencia terület alapján adagolt nitrogén műtrágyázási módszer validálása volt a cél kisparcellás mérési adatok alapján, mely kiegészítheti a tápanyag-gazdálkodási terveket. A módszer alapja, hogy az adott táblán egy kisméretű (néhány vetőgép aljnnyi) nitrogénnel jól ellátott mintaterületet alakítunk ki. A referencia területhez képest a célterületen mért SPAD értékek *Ványiné* (2008) ajánlása szerint 98 %-os, *Schröder et al.* (2000) valamint *Blackmer és Schepers* (1995) és *Piekeley et al.* (1995) szerint 92-95 %-os, *Shanahan et al.* (2008) szerint 95%-os határon belül jól ellátottak. Számításainkat a *Ványiné* (2008) által leírt összefüggéssel, szárazgazdálkodásban ajánlott 6 kg-os, és öntözött körülményeknél ajánlott 9 kg-os szorzótényezőt használtuk.

$$100 * \frac{\text{Ref-T}}{\text{Ref}} * 6 \text{ (kg N ha}^{-1}\text{)}$$

$$100 * \frac{\text{Ref-T}}{\text{Ref}} * 9 \text{ (kg N ha}^{-1}\text{)}$$

Ahol:

Ref: a referencia területen mért SPAD érték

T: a trágyázandó táblán mért SPAD érték

A számításainkat 98%-os SPAD érték különbséggel végeztük, azaz a képlet alapján 2% különbség alatt nincs teendő, felette 1%-onként öntözetlen esetben 6 kg, öntözött esetben 9 kg N ha⁻¹ műtrágyával számoltunk. A számításainkat mind 60 kg N ha⁻¹ és 120 kg N ha⁻¹ alaptrágya-dózisú referencia területtel végeztük a vizsgált évek átlagában, és az egyes vizsgált évjáratokban is. A referencia területre vetés előtt lehetőleg tavasszal kell a jó ellátottságot

biztosító nitrogén műtrágyát kijuttatni. A SPAD-méréseket célszerű a kultivátorozás előtt 6 *leveles* fenológiai fázisban elvégezni. A fejtrágyázást pedig célszerű kultivátorral, a referencia terület segítségével számított fejtrágya adagokkal végezni.

Szárazgazdálkodásban három év átlagában a kontroll parcellákra 19 kg N ha^{-1} hatóanyagra lett volna szükség a 60 kg N ha^{-1} kontroll parcellához viszonyítva. A műtrágyázatlan kontroll parcellán a 120 kg N ha^{-1} alaptrágya referencia értékhez, 22 kg N ha^{-1} hatóanyagra lenne szükség a 98%-os referencia szint eléréséhez. A többi műtrágya-kezelés során nem volt szükség fejtrágyára.

Számításainkat a 12 *leveles* állapotban mért értékekkel is elvégeztük a három vizsgált év adatai alapján, hogy megfigyeljük a 6 *leveles* állapotban kiszórt fejtrágya hatását. Nem öntözött körülmények mellett a 12 *leveles* állapotban 60 kg N ha^{-1} alaptrágya szintjéhez a kontroll parcellákon a fejtrágya igény 28 kg N ha^{-1} -ra növekedett. A 120 kg N ha^{-1} referencia területet használva a kontroll parcellák számított fejtrágya igénye 38 kg N ha^{-1} -ra növekedett. A 60 kg N ha^{-1} -ral alaptrágyázott parcellák 12 *leveles* állapotban már 11 kg N ha^{-1} fejtrágyát igényeltek a referencia szint eléréséhez. A $V_{6(90)}$ kezelésben 6 *leveles* állapotban kijuttatott 30 kg N ha^{-1} fejtrágya hatása megfigyelhető. A $V_{6(90)}$ fejtrágya igénye $1,36 \text{ kg N ha}^{-1}$, ami $9,33 \text{ kg N ha}^{-1}$ hatóanyaggal kevesebb, mint az $A_{(60)}$ kezelése.

Öntözött körülmények között a vizsgált három év átlagában a kontroll parcellákon 24 kg N ha^{-1} műtrágya szükséges a 60 kg N ha^{-1} alaptrágya referencia szintjének eléréséhez. A 120 kg N ha^{-1} alaptrágya referencia szint eléréséhez a kontroll parcellákon 50 kg N ha^{-1} , a 60 kg N ha^{-1} alaptrágya mellé 26 kg N ha^{-1} , a $V_{6(90)}$ kezelésben pedig 22 kg N ha^{-1} fejtrágyát kellene még kijuttatni. Az $A_{(60)}$ és a $V_{6(90)}$ kezelés a 6 *leveles* fenológiai állapotban egyformának tekinthető, mivel a fejtrágyázás a SPAD-mérések után történt.

12 *leveles* állapotban öntözött körülmények között az $A_{(60)}$ alaptrágya szinthez viszonyítva a kontroll parcellák fejtrágya igénye 39 kg N ha^{-1} , ami 14 kg N ha^{-1} -al több mint 6 *leveles* állapotban. A 120 kg N ha^{-1} referenciát használva megfigyelhető a $V_{6(90)}$ kezelés 6 *leveles* állapotban kijuttatott fejtrágyája. A kezelés fejtrágya igénye 12 *leveles* állapotban a 6 *leveles* állapothoz képest megszűnt.

3.6. SZÁNTÓFÖLDI TARTAMKÍSÉRLETEK ADATAINAK TÉRBELI ÉS IDŐBELI TÁROLÁSÁNAK FEJLESZTÉSE

Tartamkísérleteknél változhat a kezelés, sőt akár parcella összevonás is lehetséges. Így a több éves adatbázisban nehéz lehet az egyes parcellákra visszavonatköztatni az adatbázis

sorait. Ezzel a fejezettel szeretnénk fejlesztési lehetőséget mutatni a tartamkísérletekkel foglalkozó kutatótársaknak a saját mérési adataik térinformatikai megjelenítésére. Az általunk készített R szkript segítségével viszonylag egyszerűen csatolható a korábban elkészített adatbázis a kísérlet Quantum GIS-ben létrehozott parcella körvonalaihoz. Így a térinformatikai adatbázis a nagymennyiségű és viszonylag egyszerűen csatolható adatokkal megoldást kínál a tartamkísérleteknél gyakorlati problémát jelentő, az egyes parcellák megfelelő tér- és időbeni azonosítására. Ezáltal egyszerűbben nyomon követhető a kísérlet, vagy akár az abban történő változás is. A már meglévő adatbázis számos formátumban exportálható köztük egy *xml* alapú *kml* formátumba, amely Google Earth segítségével jeleníthető meg.

Ez a program platform független, azonban szükség van a telepítésére, illetve így nem szerkeszthető. Másik megoldás a már korábban elkészített *kml* fájlok megjelenítése a „Google Drive”-on saját meghajtón „Google My Maps” (Google Saját térképek) alkalmazásba való importálása, ahol egy böngésző segítségével megjeleníthető a térkép. Emellett a „Google My Maps” (Google Saját térképek) Androidos mobiltelefonra és tabletre is elérhető, így akár az eszköz GPS pontosságától függően parcella szinten is lehet navigálni a kísérletben. Fontos megjegyezni, hogy a program működéséhez internet szükséges.

A Google Drive segítségével a kutatócsoporton belül megoszthatóak ezek a térképek, valamint ezen felül még a körvonalak is szerkeszthetők és lehetőség van az attribútum táblán belül már létező üres oszlopok mérési adatokkal történő feltöltésére is.

Nem csak exportált *kml*-ként használható az elkészített térinformatikai adatbázis, hanem akár prezentációs célra is. Az adatokat a program kategorizálja, valamint a felhasználó által megadott módon színezi.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A vizsgált három év átlagában megállapítottuk, hogy szárazgazdálkodásban a 120 kg N ha^{-1} alap- + $30 + 30 \text{ kg N ha}^{-1}$ fejtrágya, öntözött változatban a 120 kg N ha^{-1} alaptrágya növelte a legnagyobb mértékben a SPAD értékeket.
2. Kimutattuk, hogy önmagában a SPAD értékek nem használhatóak termésbecslésre, azonban megfigyelhetünk egy tendenciát, miszerint a fenológiai fázis előrehaladtával a SPAD értékek és a termés közötti kapcsolat erősödik.
3. Kimutattuk továbbá a 6 leveles állapotban kijuttatott 30 kg N ha^{-1} fejtrágya hatását a leírt módszer segítségével. Jól ellátott kisméretű referencia terület alapján 6 leveles fenológiai fázisban meghatározható a kukorica fejtrágya igénye, a kijuttatás után a módszerrel ellenőrizhető annak hatása.
4. A szántóföldi tartamkísérletek adatainak tér- és időbeli tárolására továbbfejlesztettünk egy alkalmazást, amely elősegítheti a kutatások adatfeldolgozását, illetve az ezek prezentálását, valamint

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

Kimutattuk a 6 leveles állapotban kijuttatott 30 kg N ha^{-1} fejtrágya hatását a leírt módszer segítségével, megerősítjük a módszer létjogosultságát. Segítségével egy enyhén túltrágyázott, kisméretű referencia terület alapján, 6 leveles fenológiai fázisban meghatározható a kukorica fejtrágya igénye, a kijuttatás után a módszerrel ellenőrizhető annak hatása. A mérések alapján számított igény szerint második, illetve jó vízellátottság esetén harmadik fejtrágyázásra is sor kerülhet például JD 4730 + „Yetter” tárcsa segítségével, amivel 1,8 méteres növénymagasságig megoldható a tápanyag-visszapótlás.

Gazdaságossági szempontból a legkedvezőbb eredmény öntözetlen körülmények között a $V_{6(90)}$ kezelésben volt. Öntözött körülmények mellett az A_{120} kezelés ökonómiai szempontból optimális, azonban növénytermesztés technológiai szempontból kedvezőtlen. Az öntözés a vizsgált három évben – mivel az öntözésnek hozamnövelő hatása nem volt szignifikáns – ökonómiai értelemben negatív előjelű eredménnyel járt. Az eredményeink alapján a 60 kg N ha^{-1} alap- és 30 kg N ha^{-1} fejtrágya-kezelést javasoljuk mind öntözetlen, mind öntözött gazdálkodásban.

Módszert alkottunk a szántóföldi tartamkísérletek adatainak tér-és időbeli tárolásának fejlesztésére, amely elősegítheti a kutatások adatfeldolgozását, illetve az ezek prezentálását, valamint az így elkészített eloszlás térképek alapján munkahipotézisek állíthatóak fel.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Aparicio V. –, Costa J. L. – Zamora M.: 2008. Nitrate leaching assessment in a long-term experiment under supplementary irrigation in humid Argentina. *Agr Water Manage.* 95: 1361–1372.
- Berenguer P. – Santiveri F. – Boixadera J. – Lloveras J.: 2008. Fertilisation of irrigated maize with pig slurry combined with mineral nitrogen. *Eur. J. Agron.* 28. 4: 635–645.
- Berenguer P. – Santiveri F. – Boixadera J. – Lloveras J.: 2009. Nitrogen fertilisation of irrigated maize under Mediterranean conditions. *Eur. J. Agron.* 30: 163–171.
- Berényi S. – Vad A. – Dóka L.F. –Pepó P.: 2007. Effects of fertilization and cropyears on maize (*Zea mays* L.) yields in different crop rotations. *Cereal Res. Commun.* 35.2: 241–244.
- Berzsenyi Z. – Lap D. Q.: 2003a. N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és N-műtrágyareakciója tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 52. 3–4: 389–408
- Berzsenyi Z. – Lap Q. D.: 2003b. A vetésidő és a N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésére és termésstabilitására. [In: Nagy J. (szerk.) Kukorica hibridek adaptációs képességének és termésbiztonságának javítása] Mezőgazdaságtudományi Kukoricakonzorcium. Debrecen. ISBN:9637274437. 39–61.
- Blackmer T. M. – Schepers J. S.: 1995. Use of a chlorophyll meter to monitor nitrogen status and schedule fertigation for corn. *J. Prod. Agric.* 8: 56–60.
- Blackmer T. M. – Schepers J. S.: 1996. Aerial Photography to Detect Nitrogen Stress in Corn. *J. Plant Physiol.* 148: 440-444.
- Costa C. – Dwyer L. M. – Dutilleul P. – Stewart D. W.: – Ma B. L. – Smith D. L.: 2001. Interrelationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *J. Plant Nutr.* 24:1173-1194.
- de Mendiburu F.: 2016. agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Dobos A. – Nyizsalovszki R. – Szabó J.: 2004. A fenntartható gazdálkodást elősegítő agrárgeoinformációs rendszer kialakítása és jelentősége [In: Barton Gábor – Dormány Gábor (szerk.) A magyar földrajz kurrens eredményei: II. Magyar Földrajzi Konferencia.] Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2004.09.02-2004.09.04. Szeged: SZTE TTIK Természeti Földrajzi és Geoinformatikai Tanszék. 47. ISBN:963-482-687-3
- Dóka L.F. – Pepó P.: 2007. Role of watersupply in monoculture maize (*Zea mays* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35.2: 353–356.

- Fox J. – Weisberg S.: 2011. An {R} Companion to Applied Regression, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Huzsvai L. – Balogh P.: 2015. *Lineáris modellek az R-ben*. Seneca Books, Debrecen. 109–124.
- Huzsvai L.: 2013. *Variancia-Analízisek az R-ben*. Seneca Books, Debrecen. 35–38, 83–86.
- KSH.: 2017. A kukorica termelése (2000-). http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn013b.html?down=1171
- Mansouri-Far C. – Sanavy S. A. M. M. – Saberali S. F.: 2010. Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agr. Water Manage.* 97: 12–22
- Milics G.: 2015. Data collection methods for agricultural models [In: *Neményi M. –Nyéki A. (szerk) Proceedings of the Workshop on „Impact of Climate Change on Agriculture”*] Mosonmagyaróvár 2015 szeptember 24. ISBN 978-963-359-057-7
- Nolan B. T.: 1999. Nitrate behavior in ground waters of the southeastern USA. Reston. *J. Environ. Qual.* 28: 1518–1527.
- OECD: 1982. *Eutrophication of Waters: Monitoring, Assessment and Control*. OECD, Paris, France
- Pakurár M. – Szélesné P. G. – Piskolczi M. – Nagy J.: 2003. A kukorica (*Zea mays* L.) színének változása az öntözés hatására eltérő tápanyagszinteken. 50 éves a magyar hibrid kukorica. Martonvásár 2003. szeptember 30. ISBN:9638351381. 247–251.
- Pásztor L. – Szabó J.: 2006. Térbeli talajinformációs rendszerek pontosságának és megbízhatóságának növelése [In: *Kertész Á, Dövényi Z, Kocsis K (szerk.) III. Magyar Földrajzi Konferencia: absztrakt kötet*]. Budapest, Magyarország, 2006.09.06-2006.09.07. Budapest: MTA Földrajztudományi Kutatóintézet, 2006. p. CD-ROM. 11 ISBN:963-9545-12-0
- Piekielek W. P. – Fox R. H. – Toth J. D. – Macneal K. E.: 1995: Use of chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agron. J.* 87. 3: 403–408.
- Piekielek W. P. – Fox R. H.: 1992. Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agron J.* 84: 59–65.
- Quantum GIS Development Team.: 2016. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- R Core Team.: 2016. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Rátonyi T. – Nagy O. – Bakó K. – Fejér P. – Harsányi E.: 2014. Effects of Fertilization on Grain Quality and Bio-ethanol Production of Maize. *Növénytermelés.* 63: 31–34.

- Ritchie S. W., – Hannway J. J. – Benson G. O.: 1997. How a Corn Plant Develops Spec Rep. No.48. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service. Ames.
- RStudio Team.:2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA. URL: <http://www.rstudio.com/>
- Sasson A.: 1993. La alimentación del hombre del mañana. UNESCO. Barcelona España. Editorial Reverté. Paris Francia. 807.
- Schepers J. S. – Francis D. D. – Vigil M. – Below F. E.: 1992. Comparison of corn leaf N concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil. Sci. Plant. Anal.* 23: 17–23.
- Schröder J. J. – Neeteson J. J. – Oenema O. – Sruik P. C.: 2000. Does the crop or the soil indicate how to save nitrogen in maize production? Reviewing the state of the art. *Field Crop. Res.* 66: 151–164.
- Shanahan J.F. – Kitchen N.R. – Raun W.R. – Schepers J.S.: 2008. Responsive in-season nitrogen management for cereals. *Comput. Electron. Agr.* 61:51–62
- Smith, V. H.: 1998. Cultural eutrophication of inland, estuarine and coastal waters. [In: Pace, M.L., Groffman, P.M. (Eds.) *Successes, Limitations, and Frontiers in Ecosystem Science.*] Springer–Verlag. New York. 7–49.
- Statisztikai Tükör.2014/132, Központi Statisztikai Hivatal, 2014. december 09.
- Vad A. – Dóka L.F.: 2009. Crop year as abiotic stressor regarding yield of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotations. *Cereal Res. Commun.* 37.2: 253–256
- Ványiné Széles A.:2008. Spad-érték és a kukorica (*Zea mays* L.) termésmennyisége közötti összefüggés elemzése különböző tápanyag és vízellátottsági szinten. Doktori (PhD) értekezés
- Warnes G. R. –Bolker B. –Bonebakker L. –Gentleman R. –Liaw W. H. A. –Lumley T. –Maechler M. –Magnusson A. –Moeller S. –Schwartz M. –Venables B.: 2015. gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0. <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>.
- Weisenburger, D. D.: 1991. Potential health consequences of ground–water contamination by nitrate in Nebraska. [In: Bogardi I, Kuzelka R.D. (Eds.) *Nitrate contamination–exposure, consequence, and control: NATO ASI Serial G.*] *Ecological Sciences.* 30 Springer–Verlag. Berlin. 309–315.
- Yadava U. L.: 1986. A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. *HortScience.* 21: 1449–1450.

Yang S. M. – Li F. M. – Sou D. R. – Guo T.W. – Wang J.G. – Song B. L. – Jin S. L.: 2006. Effect of Long-Term Fertilization on Soil Productivity and Nitrate Accumulation in Gansu Oasis. *Agr. Sci. China*. 5. 1: 57–67.



Nyilvántartási szám: DEENK/120/2017.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Ragán Péter
Neptun kód: H7K184
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10048195

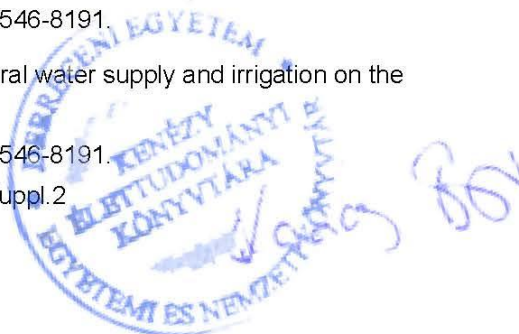
A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Ragán, P.**: Fejlesztési lehetőségek a tartamkísérletek térbeli adatainak tárolására és ábrázolására.
Agrártud. közl. 68, 81-86, 2016. ISSN: 1587-1282.
2. **Ragán, P.**: Különböző éréscsoportba tartozó kukorica hibridek klorofill-tartalmának vizsgálata eltérő N-műtrágyaadagok mellett.
Agrártud. közl. 51, 159-162, 2013. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (4)

3. Ványiné Széles, A., **Ragán, P.**, Nagy, J.: The impact of low and high dose NPK on maize (*Zea mays* L.) yield in different crop years.
Növénytermelés. 64 (Suppl.2), 201-208, 2015. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.64.2015.Suppl2>
4. **Ragán, P.**: The impacts of spring basal and side dressing on maize yield.
Agrártud. közl. 59, 83-86, 2014. ISSN: 1587-1282.
5. Ványiné Széles, A., **Ragán, P.**, Nagy, J.: The effect of natural water supply and fertilisation on maize (*Zea mays* L.) yield in the case of different crop years.
Növénytermelés. 62 (Suppl.), 119-122, 2013. ISSN: 0546-8191.
6. Ványiné Széles, A., **Ragán, P.**, Nagy, J.: The effect of natural water supply and irrigation on the moisture content of the soil and maize yield.
Növénytermelés. 61 (Suppl.), 121-124, 2012. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1556/Novenyterm.61.2012.Suppl.2>





Idegen nyelvű konferencia közlemények (2)

7. Ványiné Széles, A., **Ragán, P.**, Nagy, J.: Abiotic stress impacts caused by weather and nutrient replenishment on the yield of maize (*Zea mays* L).
Columella. 4 (1), 39-44, 2017. ISSN: 2064-7816.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>
8. **Ragán, P.**, Nagy, J., Ványiné Széles, A.: Evaluation of the impact of crop year and fertilisation on maize yield using a novel method.
Növénytermelés. 65 (Suppl.), 31-34, 2016. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.65.2016.Suppl>

További közlemények

Magyar nyelvű közlemények hazai folyóiratban (2)

9. **Ragán, P.**, Bakó, K. I., Sedlák, G.: Az eltérő vetésidővel összefüggő környezeti változások hatása a kukorica termésére.
Agrártud. közl. 55, 99-104, 2014. ISSN: 1587-1282.
10. **Ragán, P.**, Bakó, K. I., Dövényi-Nagy, T.: Vizualizációs technikák alkalmazhatósága a mezőgazdaságban.
Agrártud. közl. 55, 95-98, 2014. ISSN: 1587-1282.

Idegen nyelvű közlemények hazai folyóiratban (2)

11. Ványiné Széles, A., Vad, A., **Ragán, P.**: The impact of crop year and agrotechnical factors (fertilisation, irrigation) on the protein content of maize hybrids.
Hung. Agric. Res. 24, 8-11, 2015. ISSN: 1216-4526.
12. Ványiné Széles, A., **Ragán, P.**, Nagy, J.: The impact of abiotic stress factors on the grain yield and protein content of maize (*Zea mays* L.).
Növénytermelés. 63 (Suppl.), 55-58, 2014. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.63.2014.Suppl>

Idegen nyelvű konferencia közlemények (1)

13. Ványiné Széles, A., Vad, A., **Ragán, P.**: The impact of crop year and agrotechnical factors (fertilisation, irrigation) on the protein content of maize hybrids.
Növénytermelés 64 (Suppl.), 19-22, 2015. ISSN: 0546-8191.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12666/Novenyterm.64.2015.Suppl>





Magyar nyelvű absztrakt kiadványok (1)

14. **Ragán, P.:** Intenzív almaültetvény vízgazdálkodásának vizsgálata.

In: Tudományos diákköri konferencia, 2011/2012. tanév őszi félév : Debrecen, 2011. október

20. : meghívó és programfüzet, DE MÉKK, Debrecen, 40, 2011.

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudománymetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2017.05.03.

