

DEBRECENI EGYETEM
Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma
Mezőgazdaságtudományi Kar
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet

KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA

Doktori Iskola vezető:
Dr. Nagy János DSc
egyetemi tanár

Témavezető:
Dr. Huzsvai László PhD
egyetemi docens

**SPAD-ÉRTÉK ÉS A KUKORICA (*Zea mays* L.) TERMÉSMENNYISÉGE KÖZÖTTI
ÖSSZEFÜGGÉS ELEMZÉSE KÜLÖNBÖZŐ TÁPANYAG- ÉS VÍZELLÁTOTSÁGI
SZINTEN**

Készítette:
Ványiné Széles Adrienn
doktorjelölt

Debrecen
2008.

**SPAD-ÉRTÉK ÉS A KUKORICA (*Zea mays* L.) TERMÉSMENNYISÉGE KÖZÖTTI
ÖSSZEFÜGGÉS ELEMZÉSE KÜLÖNBÖZŐ TÁPANYAG- ÉS VÍZELLÁTOTTÁGI
SZINTEN**

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében az
Agrártudományok tudományterületén
Növénytermesztés és kertészet
tudományágban

Írta: **Ványiné Széles Adrienn** doktorjelölt

A Doktori Iskola neve: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
A doktori iskola vezetője: Dr. Nagy János DSc, egyetemi tanár
Témavezető: Dr. Huzsvai László PhD, egyetemi docens

A doktori szigorlati bizottság:

	Név	Tud. fokozat
Elnök:	_____	_____
Tagok:	_____	_____
	_____	_____

A doktori szigorlat időpontja: 2008.

A bíráló bizottság:

	Név	Tud. fokozat	Aláírás
elnöke:	_____	_____	_____
tagjai:	_____	_____	_____
	_____	_____	_____
titkár:	_____	_____	_____
opponensei:	_____	_____	_____
	_____	_____	_____

Az értekezés védésének időpontja: 2008.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	4
2. TÉMAFELVETÉS.....	7
3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....	9
3.1. A kukorica éghajlat igénye.....	9
3.2. A kukorica talajigénye.....	10
3.3. Műtrágyázás hatása.....	11
3.3.1. A nitrogén-műtrágyázás.....	12
3.3.2. Forszforműtrágyázás.....	12
3.3.3. Kálium-műtrágyázás.....	13
3.3.4. NPK-műtrágyázás.....	14
3.3.5. Tápanyag-hiánytünetek.....	15
3.4. A N-ellátottság és a termés közötti kapcsolat.....	17
3.5. A nitrogén-műtrágyázás hatása a klorofilltartalomra.....	19
3.6. Műtrágyázás és az évjárat hatása.....	20
3.7. A tápanyag-utánpótlás módszerei.....	21
3.8. A SPAD-502 típusú klorofill mérőműszer alkalmazása a nitrogénkoncentráció meghatározására.....	22
3.9. Öntözés hatása.....	24
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	27
5. EREDMÉNYEK.....	38
5.1. A műtrágyázás hatása a kukorica SPAD-értékére.....	38
5.1.1. A műtrágyázás hatása nem öntözött körülmények között.....	38
5.1.2. Műtrágyázás hatása öntözött körülmények között.....	44
5.2. Az öntözés hatása a kukorica SPAD-értékre.....	48
5.3. A SPAD-érték dinamikája a vegetatív fázisban.....	51
5.4. A kukorica terméseredményének értékelése.....	59
5.5. SPAD-érték és a kukorica termés mennyisége közötti összefüggés elemzése.....	69
5.6. N-trágyázási szaktanácsadás SPAD-érték alapján.....	81
6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....	84
7. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	86
8. ÖSSZEFOGLALÁS.....	87
9. SUMMARY.....	95
10. IRODALOMJEGYZÉK.....	103

1. BEVEZETÉS

*„Nincs olyan helyzet, aminek okos ember
hasznát ne tudja venni.”*

(Jókai)

A mezőgazdaság a történelmi idők kezdetétől az emberi civilizáció alapja volt, és az is maradt. A mezőgazdasági termelési folyamat a növénytermesztésre épül, amelynek során a gazdaságilag hasznos növények a napsugárzás energiáját megkötik, amivel az emberek és a haszonállatok táplálkozásához nélkülözhetetlen szénhidrátokat állítják elő. A növénytermesztés és az állattenyésztés által megtermelt élelmiszer mennyiség szolgál a Föld lakosságának táplálékául. A lakosság számszerűen fokozatosan növekszik, s ezért egyre több és főleg az élelmiszerbiztonság szigorú követelményeinek megfelelő élelmiszere van szükség.

Időszámításunk kezdetén a Föld népessége mintegy 150 millió főre volt becsülhető. Kerekén 1000 év után ez a szám megkétszereződött. 2000-ben pedig már elérte a 6,2 milliárdot. Előrejelzések szerint 2015-re 7,2 majd 2050-re 8–9 milliárd fő lesz a Föld lakossága. A hihetetlen ütemben növekvő népességnél gyorsabban emelkedik a természeti erőforrások pazarló és károsító felhasználása, valamint az energia-, az élelmiszer- és az ivóvízigény.

A növénytermesztés és az állattenyésztés termékeinek kibocsátási üteme világszinten az 1986–1995-ös időszak évi 1,9%-os növekedési üteméről az 1996–2005-ös időszakban 2,4%-ra emelkedett, vagyis túlszárnyalta a népesség növekedési ütemét. Következésképpen az 1 főre eső élelmiszertermelés növekedési üteme emelkedő tendenciát mutatott. Az említett két időszakban 0,3, illetve 1,1% volt. A termelésnövekedés jelentős része a hozamok emelkedésének eredménye. A gabonafélék hozama például az említett két időszakban világszinten 17%-kal emelkedett.

A hozamok emelkedéséhez azonban nélkülözhetetlen az intenzív növénytáplálás, ami energiaigényes tevékenység. A műtrágyák (különösen a nitrogénműtrágyák) előállításához számottevő, korlátozottan rendelkezésre álló, leggyakrabban fosszilis energiára van szükség. Ennek fényében is fontos, hogy csak annyi és olyan műtrágyát használjunk fel, amely feltétlenül szükséges, gazdaságosan előállítható terméstebbletet eredményez.

A jövőben egyre nagyobb figyelmet kell kapjon a fenntartható növénytáplálás alapelveinek gyakorlatban való alkalmazása. Csak így teljesül *Stefanovits* (1977) „A talajvédelem tízparancsolata”-ban megfogalmazott és megszívlelendő kettős követelménye: 1. „Csak *annyi* trágyát vigyél a talajba, amennyit a növény kíván” és 2. „A talaj termékenységét *őrizd meg, és ha lehet, növeld!*”

A mezőgazdálkodás intenzívvé válásával egyre hangsúlyosabb lett az emberi tevékenység, és benne az agrártermelés okozta környezeti károk (nitrogén-lemosódás, eutrofizáció, stb.) miatti aggodás. A mezőgazdaság, ezen belül a növénytermesztés azonban nemcsak élelmiszert termel,

hanem ésszerű gazdálkodás mellett újratermeli erőforrásait, miközben környezetfenntartási és légkörvédelmi tevékenységet is végez.

A világ mezőgazdaságára a korábbinál jelentősebb hatással lesz az olajárak alakulása. Egyrészt a tartósan magas olajár növeli az agrártermelés költségeit, másrészt reálisan felveti a bioenergia (bio-üzemanyag, biomassa) szélesebb körű igénybevételét. Ez utóbbi megnövelheti a keresletet az alapanyagul szolgáló kukorica iránt.

A kukoricát a világon, nagy területen termesztik. Észak-Amerikában főként az északi szélesség 45^o-tól délre, Európában általában az 50. szélességi fokig termesztik, ahol a hőmérséklet által biztosított vegetációs időszak legalább 140 nap. Bár a Kárpátoktól északra főként csak silókukoricát termesztene, de Norvégiában a 60. fokig lehet találkozni a növényvel. A déli féltekén a 42. szélességig fordul elő (Új-Zéland). A magassági korlát kontinensükön 1300 m (Tirol), Peruban és Mexikóban 3000–3900 m.

Magyarország az északi félteke mérsékelt övezetének középső részén fekszik. Hozzávetőlegesen „fele úton” az Egyenlítő és az Északi sark között (ÉSZ: 45°48’–48°35’ és a KH: 16°05’–22°58’). A Trewartha-féle éghajlati beosztás szerint jellemzője a hűvös, mérsékelt klíma, hosszú meleg periódusokkal.

Az ország éghajlata és talajadottsága kiválóan alkalmas a kukorica termesztésére. *Carter et al.* (1991) úgy találták, hogy az évi középhőmérséklet 1 fokos változása 300–330 km-rel tolja el a kukoricatermesztés területének északi határát. 1960-tól e határ évente átlagosan 50 km-rel tolódott északabbra.

A kukorica világviszonylatban kiemelkedő jelentőségű. Mind a termesztés területét, mind a termésmennyiségeket tekintve rendre az elsők között van. Ami a kukoricatermesztés alakulását illeti, termésmennyisége 1990-ben 483 millió tonna volt. 2007-re 766 millió tonnára emelkedett. A termelés 59%-os növekedése a gabonafélék között a legdinamikusabb. A jövő kukoricatermelésének óvatos prognózisa szerint a termelés üteme – a népesség növekedésének függvényében – lassan tovább emelkedik.

A kukoricatermesztés jelentősége hazánkban vitathatatlan. Termőterülete elterjedésétől kezdve szinte állandóan nőtt. Az 1930-as–1940-es években már a szántóterület 20%-át tette ki. Az intenzív állattenyésztéssel termőterületének növekedése tovább folytatódott. A kukorica termőterületének nagyságával nőtt a termésátlag is. A második világháború után a termés országos átlagban 2,2 t/ha-ról az 1980-as évek elején meghaladta a 6 t/ha-os átlagot (*Nagy 2007a*). A kukoricát nagy termőképessége és sokirányú hasznosítása miatt igyekeznek minél nagyobb területen termesztetni. Közben figyelembe kell venni, hogy a talajból a terméssel kivett energiát pótolnunk szükséges. A talajok szerkezetét is javítsuk. Környezetkímélő

termesztéstechnológiákat alkalmazzunk. Mindezekhez a talaj-növény-környezet kapcsolat jobb megismerése szükséges. A sikerhez elengedhetetlen a kiváló genetikai tulajdonsággal rendelkező hibridek is.

Célszerű ismerni, hogy az adott talajon, az adott makro- és mikroklímatis tényezők között, a gazdasági és környezetvédelmi szempontokat, valamint az emberi igényeket is figyelembe véve, a termesztés során milyen technológiát alkalmazzunk.

2. TÉMAFELVETÉS

*„Felfedezni valamit annyit tesz, mint látni,
amit mindenki lát, és közben arra gondolni,
amire még senki.”*

(Szent-Györgyi)

A növény tápanyagigényét a termés tápanyagtartalmából kiindulva közelítőleg meg lehet becsülni. A talajok tápanyagszolgáltató-képessége különbözik. Következésképpen különböző talajokon más és más lesz a kukorica trágyaigénye ugyanazon termésszint ellenére is.

A növények tápelem felvétele jelentős energiát igényel. Ez az energia a sejtekben termelődik, és a légzéssel szabadul fel. Előfordul az is, hogy a talajoldatban megfelelő mennyiségben van ugyan jelen a szükséges tápelem, a növény még sem képes felvenni, mert például kevés a tartaléktápanyaga, vagy a gyökér légzése levegő hiányában gátolt. Ilyen esetekben nem trágyázásra, hanem a gátló tényezők megszüntetésére van szükség. Ha pontosan ismerjük a talajban lejátszódó jelenségeket, a talaj tápanyagszolgáltatását befolyásoló tényezőket, még sem kapunk a növény tápláltsági állapotára teljes körű választ. A közvetlen választ a növény számunkra csak maga adhatja meg. Ezért nélkülözhetetlen a talaj mellett a növény vizsgálata is. A növény tápláltsági állapotának meghatározására több módszer szolgál: vizuális-, sejtnedv vizsgálat, levél-és növényanalízis, műszeres mérés (SPAD).

Vizuális diagnosztika

A növény tápláltsági állapotának vizsgálata az egész növény, vagy egyes növényi szervek külső megjelenési formái alapján (szín, habitus, növekedési rendellenességek) történik. Az egyoldalú és nagydadú makroelem túltrágyázás kiválthatja más elemek, elsősorban a fontosabb mikroelemek relatív hiányát. A vizuális módszer előnye, hogy gyors, olcsó, nincs műszer vagy laboratórium igénye. Egy tünet oka azonban többféle lehet, mert a tápanyagellátottságon túl az agrotechnikai tényezők és az időjárás is befolyásolhatja a növény fejlődését. A növénydiagnózis gyakorlati alkalmazása igen nagy tapasztalatot és sokoldalú képzettséget igényel.

E módszer mellett a növényanalízis elvégzése is szükséges.

Sejtnedv vizsgálat

Helyszíni szabadföldi vizsgálat, ami lehetővé teszi a zöld növényi szövetek tápelem ellátottságának megállapítását. Reagens hozzáadását követően a sejtnedv elszíneződését etalon

színskálával vetik össze. Határhígítás elvét alkalmazó változata gyors, helyben elvégezhető. Pontatlansága miatt kevésbé terjedt el.

Levél- és növényanalízis

A növény meghatározott fejlődési stádiumában jól fejlett fotoszintetizáló zöld levél, vagy egyéb növényi rész tápelemtartalmának meghatározása laboratóriumi vizsgálatokkal. Az eredmények lehetőséget adnak a tápelemarányok számítására.

Műszeres mérés (SPAD-502)

A hordozható Soil Plant Analysis Development (SPAD-502) klorofill mérőműszernek köszönhetően egy olyan eszköz áll a rendelkezésünkre, amellyel a növény N ellátottsági állapota mérhető. A készülék azonnali méréseket végez a levélen, roncsolás nélkül.

Vizsgálatainknál a növény tápláltsági állapotának meghatározására a SPAD-502 típusú klorofill mérőműszert alkalmaztuk. Jelen dolgozatban a kapott eredményeket értékeltük.

A nitrogén az egyik legfontosabb, a kukorica növekedését és a terméseredmény alakulását nagyban befolyásoló tápelem. A nitrogénhiány kialakulásának nyomon követése, összefüggéseinek felderítése nem egyszerű, mivel a nitrogén a talajban könnyen mozog, emiatt az a talaj művelt rétegében nem halmozódik fel. Az optimális N-mennyiség meghatározása azonban nélkülözhetetlen a hatékony műtrágya-felhasználás szempontjából, valamint a talaj és a felszín alatti vizek szennyezésének elkerülése céljából.

A doktori (PhD) dolgozattal kettős feladatot kívánok teljesíteni. Egyrészt a növény N-ellátottságának pontosabb meghatározását már a kukorica korai növekedési szakaszában.

Másrészt a vizsgálati adatok alapján választ kívánok kapni arra, hogy két fontos termesztési tényező, mint a műtrágyázás és az öntözés kísérleti területeinken hogyan hat a kukorica termésére, a termés és a SPAD-értékek összefüggésére, valamint a kapott eredmények használhatók-e a kukorica trágyázási szaktanácsadói tevékenységben.

3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

„Minél távolabbra nézünk vissza a múltba,
annál messzebbre látunk a jövőben.”
(Churchill)

3.1. A kukorica éghajlat igénye

„Aki él, számoljon a változással”
(Goethe)

Számos tanulmány foglalkozik a meteorológiai tényezőknek a kukorica növekedésére, fejlődésére és a terméshozamára gyakorolt hatásának számszerűsítésével.

A kukorica szubtrópusi származása alapvetően meghatározza hőmérséklet iránti igényét. A csírázás sarkalatos pontjai: a minimum 8–10 °C, az optimum 31,5–35 °C, a maximum 40–44 °C (Grafe 1914). Minél magasabb a hőmérséklet az optimumig, annál rövidebb a csírázás időtartama. A kukorica köztermesztésben lévő hibridjeinél a bázishőmérséklet a tapasztalat szerint 8–9 °C lehet. Shaw (1977) vizsgálatai alapján a kukorica nem termeszthető ott, ahol a nyári átlaghőmérséklet 19 °C alatti, s a nyári éjszakai átlaghőmérséklet 13 °C alatti.

A fejlődés és növekedés hőmérsékletigénye általában párhuzamosan alakul. Duncan és Hesketh (1968) vizsgálatai alapján a legnagyobb mértékű növekedés olyan környezetben várható, ahol a levél nappali hőmérséklete 30–33 °C, s az éjszaka hűvös. Ilyen hőmérséklet ingadozás szárazabb területekre jellemző, ott azonban a nedvességellátottság nem kedvező. A tenyészidőszak hőmérséklete a szervesanyag növényen belüli eloszlását, a szár-gyökér arányt is érinti (Szűsz 1970, Varga-Haszonits et al. 2006).

A kukorica legnagyobb terméshozamot ott éri el, ahol a nyári hónapok átlaghőmérséklete 21–27 °C, és a fagymentes napok száma 120 feletti (Menyhért 1985). Magyarországon a havi átlaghőmérsékletek jelenleg éppen csak elérik az alsó küszöbértéket.

A kukorica szubtrópusi származásából adódóan rövidnappalos növény, azaz 12 óra körüli megvilágítás segíti elő a virágzást, de jól alkalmazkodik más termesztési helyek sugárzási viszonyaihoz is. Így vannak rövid-, illetve hosszúnappalos körülmények között termesztendő típusok.

Növényeink közül a kukorica az egyik leginkább fényigényes növény. Ez összefüggésben van a C₄-es fotoszintézisével. Sugárzástelítettségi értéke 840 W/m². Háromszor nagyobb, mint a búzáé (280 W/m²) (Csirkov 1979). A kukorica a ráeső sugárzás 20–25%-át veri vissza. A sugárzás-elnyelés optimuma a levélfelület növekedésével nő, s 3–4-es LAI értéknél éri el maximumát. Alsóbb szinteken nagyobb az elnyelés százalékos értéke, s a szórt sugárzás érvényesül

erőteljesebben. A csövek elhelyezkedési szintjében a látható fény tartományban 70–85%-os a sugárzás-elnyelés. A talajközeli szintekben, ahová kevesebb sugárzás jut, 90% körüli ez az érték (*Varga-Haszonits* 1987).

A kukorica termését a növény által elnyelt sugárzás határozza meg (*Monteith* 1981). *Présényi* (1980) szerint a kukorica általában a beérkező fotoszintetikusán aktív sugárzás 0,6–1,7%-át hasznosítja, azonban *Anda* (1987) a korszerűbb hibrideknél már 2–3%-ot állapított meg.

Kádár és *Szilágyi* (1980) szerint, ha a tenyészidő pozitív hőmérsékleti összege 3100–3300 foknap közötti, úgy a termést alapvetően a nyári csapadék dönti el. Ezzel egyezően *Debreczeni* és *Debrecziné* (1983) arra a következtetésekre jutottak, hogy kedvező fény- és hőmérsékleti viszonyoknál a vízellátás a döntő termelési tényező. *Szász* (1988) arra hívta fel a figyelmet, hogy a vízellátottság fontos a minőség szempontjából is. A kukorica termőképességét, akkor tudja kifejteni, ha júliusban és augusztusban 100–100 mm vízhez jut (*Bocz* 1992). Ezek az értékek azt mutatják, hogy hazánkban a csapadék termést limitáló tényező, és a jelenlegi csapadékalakulási tendenciákat figyelembe véve mindinkább az is marad (*Nagy* 1998, *Varga-Haszonits* 2006).

Berényi (1945) szerint a júniusi szárazság akkor válik a termés szempontjából kritikussá, ha az a következő két hónapban is folytatódik. *Szász* (1971) eredményei azt mutatták, hogy a jobb tápanyagellátással mérséklődött a csapadékhiány termésre gyakorolt hatása. *Nagy* (2006, 2007b) 30 éves adatsora bizonyítja, hogy a téli félévben és tenyészidőszakban lehullott összes csapadék mennyisége, valamint a nem trágyázott kezelések termései közötti összefüggés jól felismerhető. A kvantitatív összefüggés a két változó között közepes, mert a csapadék összes mennyisége mellett, az időbeli megoszlása is jelentős terméسالakító tényező.

3.2. A kukorica talajigénye

A kukorica talajjal szembeni sajátos termesztési igényének kielégíthetőségét elsősorban a talajok genetikai, fizikai tulajdonságai szabják meg. Fejlődéséhez, gyökérzetének kialakulásához szükséges optimális víz-levegő arányt, a megfelelő felmelegedést a vályog típusú talajok biztosítják. Termesztésére legalkalmasabb talajok pH-ja 6,6–7,5 között változik, de képes elviselni a talajok 5,5–8,0 pH értékét is. A talajok kalciummal való telítettségéről, annak fenntartásáról folyamatosan gondoskodni kell, hogy a talajok tápanyag-szolgáltató képességét is növeljük (*Menyhért* 1985).

Sikeresen termeszthető a jó vízgazdálkodású, levegős, mély termőrétegű, könnyen fölmelegedő csernozjomon, réti csernozjomon, barna erdőtalajon és csernozjom barna erdőtalajon, valamint a kötöttebb réti talajokon is, de itt fontos a talaj mélylazítása, mert a kukorica nagyon érzékeny a talajok légjárhatóságára (*Stefanovits* 1975).

3.3. Műtrágyázás hatása

*„Hívságos dolog többet felhasználni
ott, ahol a kevesebb is elég.”*

(Ockfiam)

A kukorica tápanyagellátásának különböző módszerei közül a műtrágyázás vált legjelentősebbé.

A műtrágyázási tartamkísérletek már az indulást (1955) követő tíz év elteltével jelezték, hogy bizonyos dózis fölötti műtrágyamennyiség nem az igény kielégítését, hanem a talaj feltöltődését szolgálja (Loch és Jászberényi 1987, Füleký és Debreczeni 1991, Sarkadi 1991, Csathó et al. 2000), a feltöltődés után, pedig nemcsak fölösleges, hanem környezetszennyező hatása is van. A hiányos visszapótlás viszont a talaj termékenységének csökkenéséhez vezet.

Az intenzív műtrágyázás bevezetése óta egyre kevésbé vagyunk a talaj természetes tápanyagellátó képességére utalva (Kádár 1979). A három fő tápelem országos mérlegét tekintve hazánkban az 1960-as évek első felében a foszfor, majd a hetvenes évek elejére a nitrogén és a kálium mérlege is pozitívvá vált (Németh 1996). A növénytermesztésben több évtizeden keresztül a növekedési ráta és a növényi produkció maximalizálása volt a cél. Így a nagyadagú és rendszeres műtrágyázás hatására az 1980-as évek végéig a terméshozamok növekedtek, majd a 90-es évek elejétől a műtrágya-felhasználás drasztikus visszaesésével a terméseredményekben is hanyatlás következett be. Napjainkban, országos átlagban ismét mérsékelt emelkedést mutat az egységnyi területre eső műtrágya felhasználás (Nagy 2007a). Az alacsony tápanyag-visszapótlási szint (80–90 kg NPK/ha) mellett felmerül a kérdés, hogy a termesztett növények számára biztosítjuk-e a szükséges tápanyagmennyiséget. A válasz egyértelműen nem. Ugyanakkor polifaktoriális tartamkísérletek – Győrffy és Berzsenyi (1994), valamint Nagy (1995) – bizonyították, hogy a kukorica esetében átlagos csapadékellátottságú években a legnagyobb termésnövekedést a trágyázás eredményezte.

A fenntartható gazdálkodás bevezetésének időszakában azonban agroökológiai megközelítés szükséges, ami nemcsak a produktumot, hanem a termesztési rendszer ökológiai fenntarthatóságát is figyelembe veszi. Berzsenyi és Győrffy (1997) a tartamkísérleteket tartja nélkülözhetetlennek, mert ezekből nyerhetők terméstrendek és az ökoszisztéma minőségét jellemző mutatók. Ezek a termesztés fenntarthatóságáról korai jelzőrendszerként is szolgálnak.

Martonvásári tartamkísérletekre alapozva Győrffy (1976) szerint a kukorica termésnövekedéséhez a trágyázás 27%-ban, a fajta 26%-ban, az ápolás 24%-ban, a növényszám 20%-ban, a mélyművelés 3%-ban járult hozzá. Az összes terméstöbbség e tényezők interakciójának eredménye, ezért tápanyagban gyengén ellátott talajon a trágyázás a többi tényező hatását nagyobb mértékben befolyásolja, mint tápanyaggal jól ellátott talajon.

3.3.1. A nitrogén-műtrágyázás

Bocsi (1976) szerint hazai viszonyok között a három legfontosabb tápelem közül a legtöbb talajon a nitrogén mennyisége az elsődlegesen meghatározó jelentőségű a kukorica terméstöbbletek eléréséhez.

Megfelelő N-ellátással elősegíthető a kukorica levélterületének kezdeti gyors növekedése, és ezáltal hosszabb ideig fenntartható az optimális LAI érték, a biomassza tartóssága, ami az asszimilátáknak a szemtermésbe történő áramlása szempontjából előnyt jelent, és kedvező a harvest index értéke is (Anderson *et al.* 1985, Berzsenyi 1988, 1993). Ez az előny azonban szárazságban nem jelent gazdasági hasznot, különösen nem, ha a kukorica korábban vízhiányba került, ugyanis ez a reprodukív szakaszban tetőződik, következésképpen termésnövekedést okoz (Ruzsányi 1981).

A nitrogén-műtrágyázás nemcsak a kukorica termését és annak nitrogéntartalmát növeli, hanem kedvezően befolyásolja a növény foszforfelvételét is, vélekedik Szalka (1996). Ez a kölcsönhatás fordítva is igaz, a foszforadagok növelése kedvezően hat a nitrogén-műtrágya érvényesülésére (Bennett *et al.* 1962, Szirtes 1971).

A nitrogénműtrágyát kevésbé kötött talajon tavasszal szükséges kijuttatni, kötött talajon megosztva, főként komplex műtrágya használata esetén. Az őszi adott rész meggyorsítja a növényi maradványok lebomlását, ezért szármaradvány esetén a számított N-adag egy részének őszi kijuttatása (30–50%) szükséges. A kukorica fejtrágyázására általában nincs szükség, azonban az esetleges mechanikai gyomirtáskor kiadott folyékony N-adag termésmenvelő hatású lehet (Csatbó 2003).

3.3.2. Foszforműtrágyázás

A foszfor a növények számára nélkülözhetetlen tápanyag. A talajban szerves és szervetlen kötésben fordul elő. A talajok összes foszfortartalma 0,01 és 0,12% P között változik (Györi 1984, Loch 1992). A szántóföldi növények az első évben a műtrágyával adott foszfornek csupán mintegy 5–10%-át veszik fel (Greenwood *et al.* 1980). A növényi P felvétel 90%-a a talajban levő ún. „reziduális” foszforból származik, azaz a frissen kijuttatott P nem tudja ellensúlyozni a talaj alacsony P ellátottságát (Johnston *et al.* 1986). A P-műtrágyázás idejét az alkalmazás módja határozza meg. Legmegfelelőbbnek az őszi egyenletes kiszórás és leszántás tekinthető. A tavaszi sekély P-bekeverésből az első évben hatás nem várható (Nyíri 1997). Szárazság idején a P

felvétele egyértelműen rossz, mivel az oldhatósági viszonyok megváltoznak a talajban, a diffúziós utak meghosszabbodnak és a kötöttebb P-formák nem mozognak (*Elek és Kádár 1980*).

A foszfor szoros kapcsolatban van a nitrogénnel és a fehérjevegyületekkel. A generatív szervekben 3–6-szor több a foszfor, mint a vegetatív szervekben. A megfelelő foszforellátás meggyorsítja a növények fejlődését és érését (*Nagy 1993*).

A kukorica P igénye nem nagy és gyenge a foszfortrágya-reakciója. 84 hazai szabadföldi P-hatás-kísérlet átlagában *Csathó (2004)* megállapította, hogy a kukorica gazdaságos terméséhez szükséges P_2O_5 adag 22 kg/ha. A P kontroll parcellák szemtermése 6,26 t/ha, a P trágyázás nélküli termés ennek 95%-a, a terméstöbbletben kifejezett P hatás 0,25 t/ha, ami igen szerénynek mondható.

3.3.3. Kálium-műtrágyázás

A kálium jelentősége a növény életében sokoldalú. Szerepe van a fotoszintézisben, a légzésben, a fehérjeszintézisben, a szénhidrátok képződésében és a lipidszintézisben. Javítja a kukoricánövény aktív vízfelvételét, csökkenti a párologtatást. Ennél fogva a kálium igen fontos szerepet tölt be a növények vízháztartásának szabályozásában (*Loch és Nosticzius 1983, Beringer és Nothdurft 1985, Weber 1985, Csathó 1997*). A kiegyensúlyozott káliumellátás védi a növényt a szárazság-stressztől, növeli a növény betegséggel és faggal szembeni ellenállóképességét (*Huber és Army 1985, Kádár 1992, Zsigrai 1994, Kalocsai et al. 2004*). A legtöbb talajban viszonylag nagy mennyiségben található kálium, azonban a növény által csak viszonylag kis hányada a felvehető. A növény jórészt károsodás nélkül veszi fel, és ha szükségtelen adja le a káliumot. A talaj összes káliumtartalma a legtöbb esetben meghaladja a foszfor és a nitrogén mennyiségét. Hazánk talajainak jó része káliummal jól ellátottnak mondható (*Kádár 1993*).

A kálium legnagyobb mennyiségben a fiatal növényi szövetekben található, ott, ahol az anyagcsere, a sejtosztódás megy végbe. Nagyonbrészt (80–90%-ban) a vegetatív részekben halmozódik fel, és így, természetes úton, a növényi maradványokkal visszajut, vagy el sem távozik a termesztés helyéről.

A kálium-műtrágyákat leghelyesebb az őszi talajmunkákkal bemunkálni, mivel így a műtrágya a gyökerekkel bőségesen benőtt, nedves rétegbe kerül. A nagyon nedves viszonyok azonban oly mértékben növelhetik a K felvételt, hogy Mg hiány is felléphet, amennyiben a talajban a K-készlet nagy (*Elek és Kádár 1980*).

Csathó (2004) szabadföldi kukorica K-hatáskísérlet értékelése mutatja, hogy a gazdaságos kukoricaterméshez szükséges K-adag a 120 mg/kg alatti AL- K_2O tartományban volt a

legnagyobb (100–130 kg/ha K₂O), ami a 120 és a 160 mg/kg közötti AL-K₂O tartományban a felére (60 kg/ha K₂O-ra), 160 és 200 mg/kg AL-K₂O között a harmadára (40 kg/ha K₂O-ra) csökkent. A 200 mg/kg feletti AL-K₂O tartalmú talajokon már a K-igényes kukoricában sem kapott K-hatásokat, K-trágyázás nélkül is nagy termések voltak elérhetőek. A kukoricánál K-trágyázás nélkül humuszos homoktalajon 71%-os, homokos vályogon 88%-os, vályogon 93%-os, agyagos vályogon 97%-os, agyagtalajokon teljes, 100%-os termést lehetett elérni. A kálium-műtrágyázás a mélyfekvésű humuszos homoktalajokon 1,9 t/ha, homokos vályogon 0,7 t/ha, vályogon 0,4 t/ha, agyagos vályogon 0,2 t/ha terméstöbbletet eredményezett, agyagtalajokon a K-trágyázásnak nem volt termésmenővelő hatása.

A kálium túltrágyázása azonban kedvezőtlen, hiszen számos mikroelem esetében antagonizmust indukál. A termés tömegét a P x K ellátás szabályozza. A P-túlsúly hatására igazolhatóan csökkent az ezerszemtömeg és a szemtermés. Az egyoldalú P-túlsúly 3,4 t/ha, a kiegyensúlyozott PK-ellátás 6,2 t/ha szemtermést eredményezett (Kádár 2000).

3.3.4. NPK-műtrágyázás

Réti csernozjom talajon Sarkadi és Bánó (1962) által folytatott kísérletben 1956-ban N₆₄ P₆₁ K₁₅₃, 1957-ben N₈₃ P₄₂ K₁₉₈, 1958-ban N₇₃ P₃₆ K₁₁₈ kg/ha műtrágya-hatóanyag hatására a trágyázatlan kontroll terméséhez képest nem kaptak szignifikáns terméskülönbségeket. Dezső (1966), Káposzta (1974) viszont csernozjom talajon folytatott kísérletekben 130 NPK kg/ha összes műtrágya-hatóanyag alkalmazásakor a trágyázatlan kontrollhoz képest szignifikáns terméstöbbleteket kapott. A műtrágyaadag további növelése viszont már nem volt eredményes. Aszályos évben a műtrágyázás jelentős termésdepressziót okozott. Bocz (1976) a tiszántúli talajokra átlagosan 275–370 kg/ha mennyiség, szélső értékben 220 és 440 kg/ha közötti vegyes NPK műtrágya-hatóanyagot nevez meg optimálisnak.

Gyórfy (1976) közléseivel egyezően Nagy (2005) kísérleti eredményei is rámutatnak arra, hogy a műtrágyareakció mellett figyelembe kell venni a kukorica hibridek természetes tápanyaghasznosító képességét. Az általa vizsgált hibridek egy részénél a tápanyagellátás és a termés közötti összefüggés új típusú termésgörbével írható le. Az új összefüggés abban különbözik az eddig ismert extenzív és intenzív típustól, hogy a termésgörbe magas szintről indul, műtrágyázás hatására a termés növekszik. Az ilyen hibridek nemcsak kiváló tápanyagreakciójúak, hanem természetes tápanyaghasznosító képességük is kiváló.

A műtrágyázás 13,6–27,5%-kal növelte a kukorica fitotömeg produkcióját. A növény átlagos ösztömege a 120 kg N/ha kezelésben volt a legnagyobb. A műtrágyaadag további növelése ezt nem emelte. Öntözött állományban a nagyobb műtrágyaadag is pozitívan hatott (Nagy 1978). Az optimális tápanyagellátás jelentősen hozzájárult a csövenkénti szemszám, az ezerszemtömeg növekedéséhez. Az egy csövön található szemek számát a műtrágyázás nagyobb mértékben növelte, mint az öntözés (Bocz és Nagy 1981).

Martonvásári kísérletben több év átlagában nagy tenyészterületen a műtrágyázás csökkentette a kukoricaszemek ezerszemtömegét, mert a trágyázás jelentősen megnövelte a második csövek arányát (Győrffy *et al.* 1965). Közepes vagy közepesnél sűrűbb állományokban a trágyázás ezerszemtömeg-növelő hatása megbízható volt. 5 év átlagában a műtrágyázás 0,24 m² tenyészterület esetében 24, illetve 35 grammal növelte a kukorica ezerszemtömegét.

A debreceni tartamkísérletekben a kukorica csőtermés mutatóinak vizsgálatai szerint nem öntözött körülmények között a kukoricacsövek 20–23%-kal hosszabbak voltak a műtrágya-hatóanyag kezeléseknél a nem trágyázott kontroll értékénél. A kukoricacsöveken a sorok száma a legkevésbé mutatott változást az öntözés és műtrágyázás hatására. A kukorica magasságára a műtrágyázás pozitívan hatott, és az eltérések követték a műtrágyamennyiség nagyságát. A műtrágyázás hatása a kontrollhoz viszonyítva minden esetben szignifikáns volt (Nagy 1978).

A műtrágyahatás, valamint a műtrágyaigény is monokultúrában nagyobb, mint vetésforgóban (Győrffy 1976, Ruzsányi 1991). Sárvári (1995) szerint a kukorica a részleges monokultúrát jól tűri, azonban 1–1,5 évtized feletti monokultúrás termesztésnél aszályos években 1–3 t/ha-ral csökken a termés a vetésváltásban termesztett kukoricához viszonyítva. Berzsenyi és Győrffy (1996) véleménye szerint a kukorica termése monokultúrában minden esetben alacsonyabb volt, mint vetésforgóban. A trágyakezelések átlagában legnagyobb volt a termésnövelő hatás a norfolki típusú forgóban (0,929 t/ha), sorrendben lucerna-kukorica-búza trikkultúra (0,664 t/ha), a búza-kukorica bikultúra (0,324 t/ha) és a lucerna-kukorica bikultúra (0,260 t/ha) következett. A trágyázási kezelésekre szignifikáns volt az évjárat és a vetésforgó hatása.

3.3.5. Tápanyag-hiánytünetek

A tápelem-hiánytünetek elsősorban száraz években jelentkeznek, mivel a tápanyagfelvétel előfeltétele a jó vízellátottság, ugyanis a növények a tápelemeket oldott állapotban veszik fel.

Közismert tény, hogy a fotoszintézis függ a levelek N-tartalmától (Lawlor 1994), így a N hiány közvetetten hatással lehet a növekedésre. Zsigrai (1997) szerint a nitrogénhiányos, gyenge növekedésű (kis levél- és gyökérfelületű) növényállomány párologtatása, azaz vízfogyasztása is jóval kisebb, mint a nitrogénnel jól ellátott állományé. Ha azonban a vízfogyasztást a megtermelt szárazanyag egységnyi mennyiségére vetítve vizsgálta azt tapasztalta, hogy elégtelen tápanyagellátás esetében több vizet használnak fel a növények, mint a tápelemek optimális felvétele során.

Nitrogénhiány esetén termés kiesés és minőségromlás következik be. Csökken a kukoricanövények fehérjetartalma. A termés takarmányozási értéke romlik (Nyíri 1997, Győri és Sipos 2005, Nagy 2007b).

A túlzott nitrogéntrágyázás esetén a növények betegségekkel szemben fogékonyabbak, romlik a víz hasznosulása és aszályérzékenyebbé válhat az állomány (Nagy 2005). A túlzott nitrogénmennyiség kijuttatása többletköltséget és nem utolsósorban a talajvizekbe kerülve környezetszennyezést okoz (Németh és Kádár 1999).

A foszfor hiánya esetén fellépő általános anyagcsere zavar következtében lassul a fehérje- és cukorképzés, gyengül a keményítőszintézis. A növények rosszul fejlődnek, merev tartásúakká válnak. A gyengén fejlett gyökérszövet korlátozza a tápanyagfelvételt. A foszforhiány hatására romlik a növény vízháztartása. Tünetként az alsó, idősebb levelektől induló vöröses elszíneződés, sárgulás, majd végül elhalás figyelhető meg az állományon. Az elégtelen foszforellátás következtében késleltetetté válik a virágzás, ezért az érés túl későn fejeződik be (Zsigrai 1997).

Nemcsak a foszfor hiánya, hanem annak többlete is káros következményekkel jár. A foszfor túladagolása jelentős tápelem-aránytalanságokhoz vezethet. A P–Zn antagonizmusból adódóan foszfortöbblet esetén állományaink relatív Zn-hiányával kell számolnunk, aminek jelentős termésveszteség és minőségromlás lehet a következménye (Kalocsai et al. 2004). Az ötlevelés és tízlevelés állapotban vett mintaanyag vizsgálati adataiból megállapították, hogy a növekvő műtrágyaadagok csökkentették a Zn-tartalmat, míg a P-tartalom jelentős mértékben nőtt. A betakarításkori szár P-vizsgálati adatok jelentős hígulási effektust mutattak. A műtrágyakezelések növekedésével csökkent a kukoricaszár P tartalma. Hozzá hasonlóan mind nem öntözött, mind öntözött körülmények között a Zn-tartalom csökkenését tapasztalták. A betakarításkor szedett minták levélanálízise szerint mind öntözött, mind nem öntözött körülmények között a P-tartalom nem változott. A Zn-tartalom kis mértékben csökkent. A csuhélevél esetén is Zn-tartalom csökkenést regisztráltak (Győri és Sipos 2005).

A kálium hiánya sokszor nem azonnal látható az állományon, de jelentős termésnövekedést okozhat. A növények elégtelen kálium-ellátottsága következtében csökken az ellenálló képességük, valamint aránytalanul megemelkedik a párologtatásuk, ami levélcúcsaik, levélszéleik hervadását, elhalását okozza (Zsigrai 1997, Kalocsai et al. 2004).

A növekvő N- és P-műtrágyázás is vezethet káliumhiányhoz. Ködtebb talajokon a foszforral együtt eredményesen megvalósítható a K-szükséglet biztosítása 2–3 évre előre. Ugyanakkor a nagyobb K-adagolás maga után vonhatja a növények átmeneti Ca-hiányát és a talaj elsavanyodását (Krisztián et al. 1989).

A zöld növény sejteiben levő protoplazmának vasra is szüksége van, hogy klorofillt termeljen. A klorofill képzése viszont nitrogént és magnéziumot, sőt az egész sejtapparátus káliumot is igényel. Tehát nemcsak vashiány, hanem az előbb említett többi elem hiánya vagy bősége is kiválthatja a növény sárgulását (Loch 1970).

3.4. A N-ellátottság és a termés közötti kapcsolat

*„Egy folyamatot nem lehet úgy megérteni, hogy megállítjuk,
A megértésnek együtt kell haladnia a
folyamattal, részévé kell válnia.”
(Herbert)*

A 19. század végén – 20. század első harmadában termésnövelés szempontjából hazánkban a szuperfoszfátot tartották a legfontosabbnak (Cserháti és Kosutány 1887, Flóderer 1910). Az 1940-es, 50-es évek szabadföldi NPK trágyázási kísérletsorozatban viszont a N műtrágyázás már kétszer akkora termésnövekedést adott, mint a foszfor (id. Várallyay 1950, Láng 1963, Latkovics 1963, Sarkadi 1963).

Surányi (1957) A kukorica és termesztése című munkájában még mindig a kukorica műtrágyázásának bizonytalan kimenetéről ír: „A műtrágyák hatása a kukorica alá meglehetősen bizonytalan, ez volt az általános nézet a múltban és a jelenben is, és nincs okunk rá, hogy ezt a nézetünket gyökeresen megváltoztassuk, mert még nincs kimutatva a műtrágya alkalmazásának leghelyesebb módja”. A legtöbb reményre jogosítónak a nitrogén trágyázását ítéli. Helyesen feltételezi – amerikai példák alapján –, hogy az akkor szokásos 60–80–100kg/hold 20,5% N-t tartalmazó trágya kijuttatása túl alacsony szintű, aminek az emelésével a kukorica termésének növelését lehetne elérni. Gyórfy et al. (1965) a nitrogéntrágyázást tartja a legjelentősebb termésnövelő műtrágyának a kukoricánál. Láng (1963) Sarkadi által elvégzett 30 műtrágyázási

kísérlet eredményének összefoglalása alapján a műtrágyahatásban a N hatását ítéli döntőnek a kukorica trágyázásában.

A hazai növénytáplálás gyakorlatában markáns változások történtek az elmúlt 40 év során: a növekvő N műtrágyahasználat enyhe N túlsúlyt okozott a 70-es, 80-as években. A 90-es évek elején drasztikusan, 1/4-re, 1/5-re csökkent a hazai N műtrágya használat, 30–60 kg/ha-os negatív N mérlegeket eredményezve. Földművelésünk nitrogénigényének becsléséhez kulcsfontosságú a hazai szabadföldi N tárgyázási tartamkísérletek eredményeinek szintézise (Kádár 1987, Csathó 1994).

Csathó (2003) a 69 kukorica N hatását vizsgálta 1960 és 2000. közötti szabadföldi kísérletekben. Az irodalommal egyezően megállapította, hogy nagyobbak voltak a N hatások, mint őszi búzában. Főleg a kis humusztartalmú talajokon nagyobbak voltak a kukorica maximális gazdaságos terméséhez szükséges N adagok, mint a búza kísérletekben.

A maximális gazdaságos terméshez szükséges N adag a szikes, csernozjom, kötött réti, barna erdőtalajok és laza homoktalajok termőhelyek sorrendjében növekedett. A laza homoktalajokra kijuttatott, a gazdaságos termést biztosító átlagosan 190 kg/ha N már környezetkárosodást okozhatott ezeken a nitrát lemosódásra amúgy is hajlamos talajokon (Szűcs 1986, Németh 1996, 2000, Németh és Kádár 1999, Németh et al. 1987, 1988, Ruzsányi et al. 1994). Kadlicskó és Krisztián (1989) barna erdőtalajon végzett NP kukorica trágyázási tartamkísérlet alapján a nitrogént tartja elsősorban termés-meghatározónak. Míg Bocz (1976) a csapadék és a termés összefüggését vizsgálva száraz években a műtrágyázás termésdepressziót okozó hatását mutatta ki, addig Prokszáné et al. (1995) száraz években még 200 kg/ha N adag esetén sem tapasztalt terméscsökkenést.

A N műtrágya hatékonyságának javulása várható a monokultúra megszüntetése esetén (Porter et al. 1997). A termést a N hordozza, de ha N_{60-120} -tól nagyobb adagot alkalmazunk a talajban károsan sok NO_3 nitrogén halmozódik fel (Sárvári 1995).

A N ellátottság javulásával együtt növekedett a talaj humusztartalma, és – a túlzott ellátottságot kivéve – a N kontroll parcellák termése. Ezzel ellentétes tendenciát mutattak a maximális gazdaságos terméshez szükséges N adagok: a jó, illetve a túlzott ellátottságon csupán fele-kétharmada annyi nitrogénre volt szükség a gazdaságos terméshez, mint az igen gyenge, illetve gyenge ellátottságon. Igen gyenge–gyenge N ellátottság mellett 63–72%-os, míg a jó, illetve túlzott ellátottságon 84–94%-os termést lehetett elérni nitrogén nélkül. A terméstöbbletekben is csökkenő tendencia volt tapasztalható a N ellátottság javulásával (Csathó 2004).

3.5. A nitrogén-műtrágyázás hatása a klorofilltartalomra

*"A klorofill a legfigyelemreméltóbb szervesanyag,
amit a természet alkotott."*

(Darwin)

Az anyagcsere-folyamatok közül a legtöbbet vizsgált terület a növényi produktumot előállító fotoszintézis. A szabadföldön élő növények folyamatosan ki vannak téve a napsugárzás hatásának.

A Napból származó energia elektromágneses sugárzás. A mérsékelt égövben a sugárzó energiának kb. 55%-a jut a látható fényre (380–720 nm), a fotoszintetikusan aktív hullámtartományra. Az infravörös sugárzás (720 nm fölött) az összes sugárzó energia 40–44%-át teszi ki, aminek elnyelése után emelkedik a növény és a környezetének hőmérséklete. Az ultraibolya (UV) hullámtartományba (380 nm-ig) 1–5% jut. A zöld növények legfontosabb fotoszintetikus pigmentje (színezékei, színtestecskéi) a klorofill a látható fényt képes megkötni. A látható fény azonban nem egységes. Hat színből áll: a vörös, a sárga, a narancs, a zöld, a kék és az ibolya. A hatféle szín hatféle hullámhosszúságú tartományba eső sugarakat jelöl, amelyek közül a vöröse a legnagyobb hullámhosszúságú, az ibolyaé pedig a legrövidebb.

A növényeket érheti közvetlen (direkt) és szórt (diffúz) fény. A földfelszínre jutó direkt fény mennyisége a sarkoktól az Egyenlítő irányában fokozatosan növekszik. A direkt fény a növényre kedvezőtlenebb, mert annak hőmérsékletét nagymértékben megemeli, és kisebb benne a fotoszintézisben jól hasznosuló narancsvörös és vörös hullámtartomány. A növények a direkt sugárzással szemben aktív helyzetváltoztató mozgással – ún. fototropizmussal – védekeznek.

A növényre jutó fény egy részét a sejtalkotók nyelik el, illetve hasznosítják a fotoszintézis során. Számos kutatással egyezően *Marton és Kádár* (1999) is bizonyították, hogy az ásványi tápelemek hiánya gátolhatja képződésüket a klorózis jelenségén keresztül. Optikai tulajdonságaik a kémiai szerkezetükkel van összefüggésben. A klorofill építőköve a nitrogént és magnéziumot is tartalmazó pirollgyűrű. A klorofill-a ($C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$) és a klorofill-b ($C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$) apró szerkezeti módosulásban különböznek, mely tükröződik színükben és abszorpciós spektrumaikban.

A két klorofill forma felfedezését a kromatográfiás módszer kidolgozása tette lehetővé (*Cvet* 1906). A klorofill gyengén kötődik a fehérjéhez, attól könnyen elválasztható. Alkohol, aceton vagy éter oldja a pigmentet, míg a fehérjét kicsapja. Az oldott színezék keményítő- vagy cukoroszlopon kékeszöld klorofill-a, haragoszöld klorofill-b és sárga xantofil, ill. narancsvörös karotinoid összetevőkre bontható, melyek együtt fordulnak elő és más-más hullámhosszúságú

fényt abszorbeálnak. A szelektív fényelnyelés jelenségére már 1882-ben *Engelmann* felhívta a figyelmet klasszikus kísérletével.

A klorofill mint a sejtplazma zöld szemcséinek, a kloroplasztiszoknak pigmentanyaga, az elnyelt fényenergiát továbbítja a vízbontó és CO₂-asszimiláló rendszerhez. Oldata áteső fényben zöld, ráeső fényben vörösen fluoreszkál. A klorofilok a 440 nm hullámhosszúságú fényt csaknem teljesen elnyelik, az elnyelés 95% körüli. Mintegy 50%-os elnyelési maximumuk van 660 nanométernél is. A két elnyelési maximumból az egyik a vörös, a másik a kék színtartományba esik, de a vörösé, sokkal nagyobb, csaknem kétszeres. A karotin és a xantofill egyik elnyelési csúcsa a valamivel hosszabb, ugyancsak a vörös színű tartományban van, a másik maximuma alig 25%-os. Az elnyelési görbéket elemezve két fontos következtetést vonhatunk le. Az egyik: a fotoszintézis szempontjából a nagyobb hullámhosszú, energiában szegényebb, vörös, narancs és sárga sugarak a kedvezőbbek. Mivel a szórt fény ezekben feldúsul, a szórt fény a fotoszintézis szempontjából kedvezőbb, mint a közvetlen sugárzás. A másik: egyik színanyag sem képes hasznosítani az 500 és 600 nanométeres hullámhosszúságú, zöld színű tartományba eső fénysugarakat. Ezért látjuk a növényeket zöld színűeknek.

1915-ben Richard Willstätter Nobel-díjat kapott a klorofilok kémiai szerkezetének leírásáért, mely egyetlen Mg²⁺ atomot körülvevő, szénből, hidrogénből, nitrogénből és oxigénből álló hálózat. Majd tizenöt évvel később 1930-ban dr. Hans Fischer a hemoglobin kémiai szerkezetének felfedezéséért kapott Nobel-díjat. Megállapította, hogy a hemoglobin szerkezete hajszálpontosan megegyezik a klorofillal. A fő különbség, hogy a hemoglobinban közepén vasatom található, míg a klorofillban magnéziumatom. A klorofill kémiai természete alapján rokon az állati és emberi vér pigmentjével (hemin, hemoglobin), kapocs az élővilág között.

3.6. Műtrágyázás és az évjárat hatása

*„Minden ok és okozat: közvetett és közvetlen egyaránt.
Természetes, láthatatlan kötelék köti össze a legtávolabb eső,
a legkülönösebb dolgokat.”*

(Pascal)

Az időjárás – mivel szabályozza a termőhely hő- és nedvességellátottságát – hatással van a talajban lejátszódó anyagátalakulásra, a növények növekedésére, tápanyagfelvételére, így a műtrágya érvényesülésére is (*Kramer 1963, Kovács 1982, Nagy 1996*). *Nagy (2005)* több évtizedes kutatási eredményei azt mutatják, hogy a kukoricahibridek műtrágyareakciójára jelentősen hat az évjárat – ezen belül elsősorban a csapadék –, amely jól jellemezhető az 1 mm csapadékra jutó

szemtermés mennyiségével. A műtrágyázás termésmenvelő hatása évenként, évjáratonként számszerűsíthető, ami a sikeres tervezés, gazdálkodás alapja (Nagy 2005).

A tartamkísérletek többsége szerint mérsékelten száraz évben közepes vagy jó a műtrágyahatás. Aszály esetén az egyedfejlődés első felében jól fejlődik a növény, a második felében a nagy LAI és a megnövekedett vízigény miatt súlyos vízhiányba kerül a kukorica, és ennek következményeként jelentős a termés csökkenés (Debreczeni és Debreczeniné 1983, Nagy 1997). Mérsékelten száraz évben a P-, K-ellátásnak nagy a jelentősége, mert csökken a vízhiány-stressz.

A csapadékmennyiség, illetve a talajban tárolt nedvességekészlet a trágyaszükségletet és a trágyahatást is módosítja. A trágyahatás az optimális vízellátáshoz közeledve nő, majd a káros víztöbblet beálltával csökken (Szász 1972, Bocz 1976, Abramenko 1982, Harmati 1987, Ruzsányi 1992). Öntözés hatására valamennyi trágyázási kezelésben megbízhatóan, mintegy 2,5–3,0 tömeg%-kal emelkedett a talaj 40–180 cm-es szelvényének nedvességekészlete. A talaj mélyebb rétegeiben az egyes kezelések között nem találtak szignifikáns eltérést (Nagy et al. 2006).

3.7. A tápanyag-utánpótlás módszerei

*„...rátaláltam az egyik olyan módszerre,
amelyet a természet használ.
De hogy hány másik mód lehet még,
azt meg nem mondhatom.”*

(Priestley)

A műtrágyák jelentősen befolyásolják a talaj biológiai folyamatait. Hatásuk lehet hasznos, de káros is. A talajviszonyoknak nem megfelelő műtrágya vagy az egyoldalú műtrágyázás a biológiai folyamatokat kedvezőtlenül befolyásolja (Sipos 1978).

Napjainkban fontos célkitűzéssé vált a fenntartható gazdálkodás elveinek megvalósítása. A fenntarthatóság fogalmát több szerző is definiálta, melyben minden esetben a természeti erőforrások védelmét hangsúlyozták. A fenntartható gazdálkodás megköveteli, hogy a gazdaságossági szempontok mellett legyünk tekintettel az ökológiai szempontokra is. A termőhely adottságainak figyelembevételével, a környezet lehető legkisebb terhelése mellett valósítsuk meg a gazdaságos termelést. A fenntartható fejlődés megköveteli a tápanyag-gazdálkodásban is az ökológiai szempontok érvényesítését, annak érdekében, hogy a tápanyag-utánpótlás a környezet minimális terhelése mellett legyen megvalósítható (Loch 1999). A mechanikus szemléletű trágyázási gyakorlatról át kell térni a dinamikusra. Ennek alapelemei: a rendelkezésre álló tápelemforrások optimális kihasználása, a tápelem körforgalom figyelembe

vétele, a trágyázás tartamhatásának fokozottabb figyelembe vétele, a trágyázás nem kívánt mellékhatásának elkerülése (*Várallyay és Németh 1996, Németh 1996*).

A kukoricatermesztés eredményességét elsősorban a víz- és tápanyagellátottság határozza meg, ezért a szakszerű műtrágyázás a jövedelmezőség alapfeltétele. Az optimális trágyaadag megállapítása az egyik legnehezebb feladat. Figyelembe kell venni a termesztett hibrid tápanyaghasznosító képességét, műtrágyareakcióját és az évjáráthatást. A megbízható műtrágyázási tartamkísérlet eredményei jelentenek igazi segítséget. A soktényezős kölcsönhatások elemzése azonban elengedhetetlen (*Nagy 2007a*).

Már *Mitscherlich* (1952) is megállapította, hogy csak szántóföldi kísérletek alapján lehet a műtrágyázási szaktanácsadást megalapozni, mert a laboratóriumi vizsgálatok megtévesztőek lehetnek. *Kreybig* (1955) sem tartotta elegendőnek a csak talajvizsgálatokra alapozott tápanyagutánpótlást. Javasolta a táblatorzskönyvek alapján történő empirikus módszerek beépítését is.

Számos kutató foglalkozott és foglalkozik az adott növényfaj, azon belül a fajta tápanyagellátásához szükséges optimális műtrágyázási szint meghatározásával (*Antal 1983, Buzás 1983, Nagy 1986, Sárvári 1986, Csathó et al. 1989, Debreczeniné 1989, Széll 1994*). E kérdésnek több összetevője van. Egyrészt számolni kell a talaj tápanyaggazdálkodásával és tápanyagmegkötő-képességével, másrészt figyelembe kell venni a növény tápanyagfelvételi és -hasznosítási tulajdonságait is (*Nagy 2006*).

3.8. A SPAD-502 típusú klorofill mérőműszer alkalmazása a nitrogénkoncentráció meghatározására

A növény nitrogénellátottságának jellemzésére alkalmas a nitrogéntápláltsági-index (NNI), ami a növények aktuális és kritikus nitrogéntartalmának arányát fejezi ki. A kritikus nitrogénkoncentráció a maximális növényi növekedéshez szükséges nitrogéntartalmat jelenti, ami függ a növény genotípusától, valamint a növényállomány sűrűségétől és fejlettségétől. Az NNI meghatározása destruktív mérési módszereket igényel, ezért a gyakorlatban gyorsan és könnyen meghatározható indexek alkalmazására van szükség (*Justes et al. 1997*).

A levelek klorofill-tartalma információt szolgáltat a növények fiziológiai állapotáról, mivel a különböző természetes és antropogén stressz-tényezők hatással vannak a klorofill mennyiségére (*Carter 1994*). A nitrogénstressz a levelek klorofilltartalmában is kifejeződik, mivel a levelek klorofilltartalma lineáris összefüggésben áll a levelek nitrogéntartalmával (*Evans 1989, Niinemets és Tenhunen 1997, Yoder és Pettigrew-Crosby 1995*). A levelek teljes nitrogéntartalmának 50%-a játszik

szerepet a fotoszintézisben, 30%-a nem fotoszintetikus proteinekben található, 20%-a pedig strukturális nitrogén (Hikosaka és Terashima 1996).

A SPAD-mérőkészüléket Japánban fejlesztették ki a rizs nitrogénellátottságának értékeléséhez (Chubachi et al. 1986). A rizsben való vizsgálatokat (Turner és Jund 1991, Peng et al. 1993, Janaki és Thiagarajan 2004), követően a készüléket búzában (Reeves et al. 1993, Fox et al. 1994, Arregui et al. 2006), kukoricában (Piekielek et al. 1995, Chapman és Barreto 1997, Rajcan et al. 1999), burgonyában (Jongschaap és Booij 2004, Wu et al. 2007), gyapotban (Feibo et al. 1998), valamint fás szárú kultúrákban (Chang és Robinson 2003, Bauerle et al. 2004, Pinkard et al. 2006) is tesztelték.

Yadava (1986) SPAD-501 típusú klorofillmérő segítségével meghatározta az összes klorofill (a és b) területi koncentrációját és összevetette az adatokat a hagyományos módszerek által kinyert klorofill területi koncentrációival. Friss levélmintákat gyűjtött 22 fajból, melyek 14 növény családot képviseltek. A SPAD-501 mérései során minden egyes levéllemez mindkét oldalát homogenizálták 8 ml 80%-os vizes acetonnal egy polytron szövet-homogenizáló segítségével (Brinkmann Instruments). A leszűrt vizes acetonnal tetején lévő optikai sűrűséget lemérték 645 nm-en és 663 nm-en is spektrofotométerrel (UV-D spectronic 21), 10 mm úthosszúságú kivető használatával. Ezen értékek segítségével határozták meg a teljes klorofillkoncentrációt, négyzetméterenkénti mikromolokban, Evans leírása alapján (Evans 1983). Az így meghatározott klorofill koncentrációs értékeket ábrázolták a vonatkozó középértékek függvényében, amelyek az ugyanazon lemezpárra vonatkozó SPAD-501 mérésekhez tartoztak. Ezekből a korrelációkból alakították ki a regressziós egyenletet ($Y = a + bx$).

Kukoricánál a N trágyázás környezetbarát dózisének meghatározásánál egyik jól alkalmazható eszköznek ítélik a Soil Plant Analysis Development (SPAD) klorofill mérőműszert, amely gyors, megbízható és nem sérti a növényi szöveteket (Yadava 1986, Piekielek és Fox 1992, Feil et al. 1997, Berzsenyi és Lap 2001). Marquard és Tipton (1987) tizenkét növényfajon (bab, káposzta, gyapot, folyondár, börtfű, borsó, dió, retek, burgonya, spenót, tök és napraforgó) végzett méréseket azért, hogy megállapítsa, milyen összefüggés van a SPAD-értékek és az acetonnal kivont, spektrofotométerrel meghatározott klorofill mennyisége között. Eredményei szerint a kivonható klorofilltartalom és a SPAD-értékek között szignifikáns összefüggés volt. Schepers et al. (1992) több kísérleti helyszín adatait rögzítették, amelyekben számos kukorica hibridet vizsgáltak a nővirágzás ideje alatt. Összehasonlítva a kukorica levél nitrogén koncentrációját a SPAD-502 típusú klorofill mérőműszer eredményeivel. A műszer adatai pozitív összefüggést mutattak a levél hagyományosan mért nitrogén koncentrációjával.

Bullock és Anderson (1998) Illionis államban, több helyszínen végeztek kísérletet 1991 és 1992 folyamán. Tíz különféle nyitott pedigréjú kukorica hibridet vetettek el hektáronként 65.000-es

növény számmal. Négy különböző mennyiségű nitrogén-adagot alkalmaztak (0, 90, 180 és 270 kg N/ha), 28%-os folyékony N-oldat formájában. A mérési eredmények értékelésénél a környezet és a hibrid és azok kölcsönhatása kiemelkedő hatásoknak mutatkoztak. A N-műtrágyás az összes mintavételezés alkalmával, hatással volt a mért SPAD-értékre, illetve a levél, továbbá a szemek N-koncentrációjára. A maximális átlagtermést és a szem legnagyobb N-koncentrációját a 110, illetve 195 kg N/ha mellett kapták. A SPAD-értékek N-műtrágya szintjéhez viszonyított korrelációja alacsony, de az összes mintavételezési alkalommal szignifikáns volt. A SPAD-értékeknek a megfelelő levél N-koncentrációhoz viszonyított korrelációja ugyanakkor folyamatosan javult. A SPAD műszer a levelek klorofillkoncentrációjának egy időpontban végzett összehasonlító vizsgálatára kiválóan alkalmasnak bizonyult. A klorofillméréseket ennél fogva használhatónak tartják a természetű növények N-hiányának megállapítására. *Pakurár et al.* (2003) a műtrágyázás és a SPAD-értékek összefüggésének vizsgálatok kapott eredményekből szintén azt állapították meg, hogy a műtrágyázás minden esetben jelentősen befolyásolta a SPAD-értékeket. A SPAD-érték és a kukorica szemtermése között Berzsényi és társai N műtrágyázási kísérletben szoros lineáris összefüggést mutattak ki (*Berzsényi és Lap* 2003, *Pakurár et al.* 2003).

A kukorica levelének szárazanyagban mért nitrogéntartalma és relatív-klorofilltartalma közötti lineáris korreláció R^2 értéke 0,81 (*Chapman és Barreto* 1997). A termés és a klorofill-index közötti összefüggés erőssége a búzában 0,88 R^2 -értékkel (*Lopez-Bellido et al.* 2004), a kukoricában 0,60 R^2 -értékkel (*Montemurro et al.* 2006) jellemezhető.

A SPAD-index és a levelek nitrogén-, klorofill-tartalma, valamint a termés közötti kapcsolatok értékelésekor nem szabad figyelmen kívül hagyni azt a tényt, hogy az összefüggéseket az évjárat és a genotípus befolyásolja (*Lemairé et al.* 2008).

A SPAD mérés hátránya, hogy egy adott terület nitrogénellátottságának értékeléséhez nagyszámú mérésre van szükség, mivel a készülék 6 négyzetmilliméter levélfelületen képes mérni a relatív klorofilltartalmat (*Scharf és Lory* 2002).

3.9. Öntözés hatása

„Heves láng hamar kiejg,
tartós a csöndes eső,
ám múló a zápor.”
(*Shakespeare*)

Jelenleg kb. 800 millió ember éhezik a világon, és ebből 200 millió gyermek. A prognózisok szerint 2030-ban közel 9 milliárd ember él majd a Földön. A népesség rohamos növekedése az élelmiszertermelés nagyarányú növelését követeli meg, amelynek alapvető feltétele az öntözéses

gazdálkodás fejlesztése. A világon a szántóterület 17%-át öntözik. Ez a terület viszont az évenkénti betakarítható össztermés valamivel több, mint 40%-át adja.

A jövőben a világ öntözött területein növelni kell az öntözés hatékonyságát. A jelenlegi 38%-ról legalább 42%-ra. Ez a 4%-os hatékonyságbeli növekedés jelentős mennyiségű öntözővíz megtakarítást jelentene. Ugyanis a világ éves vízkivételének közel 2/3-át fordítják mezőgazdasági tevékenységre – zömmel öntözésre –, ami kb. 2711 km³/év, és ez a Mississippri éves vízhozamának ötszörösét jelenti. Ez az érték 2025-re elérheti a 3100 km³/év értéket. Ebből is látható, hogy a mezőgazdaság, és ezen belül az öntözés fokozott mértékben felelős a Föld vízkészleteiért, illetve a környezetre gyakorolt hatásaiért (Hebjes *et al.* 2004, Láng 2005).

Hazánkban már az 1700-as évek végén végeztek rétöntözést Márialigeten. Ettől kezdve napjainkig, ha változó mértékben is, de az öntözés a termelési gyakorlat részét képezte. 1937-től (a XX. Törv.) már jogilag is szabályozták. Mind az öntözésre berendezett, mind a ténylegesen öntözött terület 1965–85 között volt a legnagyobb (390–450 ezer ha). Az elmúlt 10–14 évben a mezőgazdaság általános recessziója visszavetette az öntözést. 2000-től lassú területnövekedés, s vele egyidejűleg műszaki színvonaljavulás kezdődött. Ez egyrészt köszönhető a támogatásoknak, másrészt az ezredfordulótól tartós aszályos időszaknak. Hazánkban, 2002-ben a vízjogi engedéllyel rendelkező öntözésre berendezett terület 210 ezer hektár volt, ami a szántóterület közel 5%-a. A ténylegesen öntözött terület évjárattól függően ennek a fele. Az Európai Unióban a szántóterület mintegy 13,5%-át öntözik (Hebjes 2005).

Magyarországon az átlagos éves csapadék 550–580 mm. Ebből a tenyészidőszakra jut 340 mm, 140–550 mm szélső értékekkel. Ez a mennyiség az itt kialakított intenzív termelési szerkezetet meghatározó növényei számára alapvetően kevés (Lelkes 2003). Ha a lehullott csapadék és a talaj könnyen felvehető vízkészlete a növény igényét nem elégíti ki, akkor a hiányt öntözéssel kell pótolni (Petrasovits 1967, 1969). Az agrometeorológiai adatok alapján az Alföldön az évek 25%-ában volt csak elegendő csapadék. Így a hatékony szántóföldi növénytermesztés a jövőben sem mondhat le a vízhiányt mérséklő öntözésről (Antal *et al.* 1972).

Az öntözés hatékonyságának növelése érdekében a precíziós öntözésben rejlő lehetőségek kihasználására, azaz a beállítható vízadagok nagy pontosságára és a kijuttatás egyenletességére hívja fel a figyelmet Lelkes (2003). Ezzel a módszerrel elkerülhetők az öntözés káros hatásai (felszíni eróziós eliszapolódás, talajtömörödés).

A vízhiány következtében az élettani folyamatokban zavarok keletkeznek (Derco 1979). A vízhiány legszembetűnőbb hatása a növények levélterületének és produktumának csökkenése, mert a vízhiányra legérzékenyebb folyamatok közé tartozik a sejtnövekedés és a sejtfal szintézise, a fotoszintézis és a nitrátreduktáz-szint alakulása (Boyer 1968).

A növény egyes szervei is eltérően reagálnak a fennálló vízhiányra. A gyökerek növekedésének fenntartása magában rejti a mélyebb helyről történő vízfelvétel potenciális lehetőségét, ugyanakkor a szár, illetve a levelek növekedésének erőteljesebb gátlása (Earl és Davis 2003) csökkenti a transzspiráció mértékét (Sharp et al. 1994).

A vízhiány a növények korai öregeedéséhez, a szükségesnél több víz azonban a tenyészidőszak meghosszabbodásához vezet (Debrecezeni és Debreceziné 1983). Menyhért (1985) szerint a száraz július kedvezőtlenül hat a csőfejlődésre, de a túl sok csapadék is káros. A kukorica fejlődésének korai szakaszában érzékenyebb a vízfeleslegre, mint később. A tenyészidőszak kései szakaszában fellépő felesleg a virágzás elhúzódását, rosszabb magkötődést és rosszabb minőségét okozhat (Ritter és Beer 1969).

A csapadékhiány, illetve a vízhiány meghatározására, becslésére több módszer ismert. Például a Bocz-féle vízellátottsági hiány, a Petrasovits-féle agrohídropotenciál, a Harnos-féle aszályosság függvény, a hidrotermikus vagy ariditási tényezők, az ÖKI által kidolgozott potenciális vízhiányt meghatározó módszer (Szalóki 1988). A módszerek adott területen, az egyéb tényezők gondos figyelembevételével jól használhatók az öntözés tervezésében és az öntözés szükségességének meghatározásában.

Cselőtei (1957) szerint a csapadékban szegény területeken a termés garanciája az öntözés. A címerhányás ideje alatti aszály hatására a termés csökkenés 40–50% is lehet (Claassen és Shaw 1970). A címerhányás és a virágzás alatt fellépő vízhiány a szemek számát, a megporzás utáni stressz pedig a szemek tömegét csökkenti, jelentős hozamkiesést okozva (Shaw 1977). A növény vízigénye azonban az érés előrehaladásával jelentősen csökken. Ekkor a hőmérséklet szerepe nagyobb (Berényi 1958, Posza és Stollár 1983). Szász (1963) kísérletei bizonyították, hogy hazánkban a legfontosabb termész szabályozó tényező a vízellátás mértéke. Több szerző szerint az öntözés szükségességét a növény vízigénye, a gazdálkodás intenzitása és a talajnedvesség kedvező állapotának fenntartásához hiányzó vízmennyiség határozza meg (Oroszlány 1965, Szlovák 1972, Blanchet 1973, Szőke Molnár 1977, Cselőtei 1978, Várallyay 1985, Petrasovits 1988, Szalóki 1988). A talaj nedvességi állapota elsősorban a csapadék mennyiségétől, eloszlásától, másodsorban a talajadottságtól, a talajvíz elhelyezkedésétől függ (Szász 1973, Várallyay 1987).

Öntözéssel a csapadékhiányt kiegészítve évről-évre eltérő termésmennyiség érhető el (Nagy 2006).

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

„Fontos, hogy mindent mérjünk, ami mérhető,
és megpróbáljuk mérhetővé tenni, ami még nem az.”

(Galilei)

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Látóképi Kísérleti Telepén, közepkötött mészlepedékes csernozjom talajon 1984-ben alapított többszázéves szántóföldi tartamkísérletben végeztük 2003 és 2007 között.

A műtrágya-hatóanyagok: 1 N : 0,75 P₂O₅ : 0,88 K₂O konstans arányú NPK dózisok. A nitrogén alapdózis 30 kg N/ha. A műtrágyázás nélküli kontroll mellett ennek 1, 2, 3, 4, 5-szörös dózisát alkalmaztuk (1. táblázat). A szántóföldi tartamkísérletnek nem öntözött és öntözött változata van. A kijuttatott öntözővíz mennyiségét a 2. táblázat mutatja. Az öntözést Valmont típusú lineár öntözőberendezéssel végeztük. A növényszámot – nem öntözött és öntözött körülmények között egyaránt – 70 ezer növény/ha-ra állítottuk be.

1. táblázat. Műtrágya kezelések

A kezelés jelzése	Műtrágya-hatóanyag kg/ha		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
nem műtrágyázott	-	-	-
N ₃₀	30	23	27
N ₆₀	60	45	53
N ₉₀	90	68	80
N ₁₂₀	120	90	106
N ₁₅₀	150	113	133

2. táblázat. Öntözővíz mennyisége és kijuttatásának időpontja
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Öntözés időpontja	Öntözővíz mennyiség (mm)
2003. június. 16.	45
június 26.	40
2004. június 08.	25
július 07.	25
2006. július 13.	25
július 26.	25
2007. április 27.	25
május 16.	30
június 10.	30
június 26.	25

A kísérlet földrajzi helye: Debrecen, Magyarország (N: 47°33', E: 21°27' t.sz.f. (Adria): 113–118 m. A kísérleti terület 190 ha. A 2002-ben végzett talajvizsgálati eredmények alapján a talaj átlagos pH értéke 6,6 (gyengén savanyú kémhatású), ami a növények tápanyagfelvétele szempontjából optimális. A fizikai talajféleség közép kötött vályog. A talaj felső (20 cm) rétegében az Arany-féle kötöttségi szám 37, az összszó-tartalom 0,05 m/m%. A szénsavas mésztartalom a talaj felső 80 cm-ben 0m/m% (mészhiányos), de 100 cm-től 160 cm-ig meredeken emelkedik és eléri a 11 m/m%-ot (közepesen meszes). Az 1984-es talajvizsgálati eredményekhez képest a szénsavas mésztartalom kimosódása folyamatos és egyre mélyebb rétegekben jelenik meg. A talaj humusztartalma is az intenzív művelés miatt csökkent, az elmúlt 23 évben a talaj felső 20 cm-es rétegben 2,4 m/m% , a 120 cm-es mélységében már nem haladja meg az 1,00 m/m%-ot. A talaj nitrogén és kálium ellátottsága jó, P-ellátottsága közepes.

Időjárás: A környezeti paramétereket automata mérő és adatgyűjtő-állomás folyamatosan méri és rögzíti. Hat másodpercenként mérik, 0,5, 1 és 2 m magasságban a levegő hőmérsékletét (°C), relatív páratartalmát (%), a talaj hőmérsékletét (°C) öt-, huszonöt és ötven cm-es mélységben, valamint a beérkező sugárzást (W/m²) és a csapadék mennyiségét (mm). Az adatokból nyert statisztikai mutatók (átlag, szórás) negyedórás gyakorisággal kerülnek tárolásra. Az alapadatokhoz fenó-, illetve fitometriai megfigyelések, talajtani vizsgálatok kapcsolódnak.

A kukoricatermesztés egyik legfontosabb kritériumnak számító, a teljes tenyészidőszakra vonatkoztatott hőösszeg kiszámítását az alábbi képlet alapján végeztük el:

$$\text{hőösszeg (Heat Unit)} = \sum_{i=1}^n \frac{(T_{\max} - T_{\min})}{2} - T_{\text{bázis}}, \text{ ahol} \quad (1)$$

T_{\max} a napi maximális hőmérsékletet, a T_{\min} a napi minimális hőmérsékletet jelöli. A $T_{\text{bázis}}$ azt a hőmérsékletet jelenti, amely alatt a fejlődési folyamatok annyira lelassulnak, hogy nem érdemes számításba venni az ez alatti értékeket. A kukorica esetében ez az érték 10 °C.

A potenciális evapotranszpiráció értékét Szűcs (1973) módszere alapján számítottuk. Ez a Magyarországon elismert és leginkább elterjedt módszer a víz párolgását döntő módon meghatározó légköri elemeket és a folyamatokat – a levegő hőmérsékletét, a vízgőz relatív nedvességtartalmát, a szélesebbeséget és mikroadvekcións hatásokat – veszi figyelembe.

A vízzel töltött 3 m²-es kád párolgása:

$$PET = \beta [0,0095(T-21)^2(1-R)^{2/3} f(v)] \quad (2)$$

ahol:

PET: potenciális evapotranspiráció [mm nap⁻¹]

T: a napi középhőmérséklet [°C]

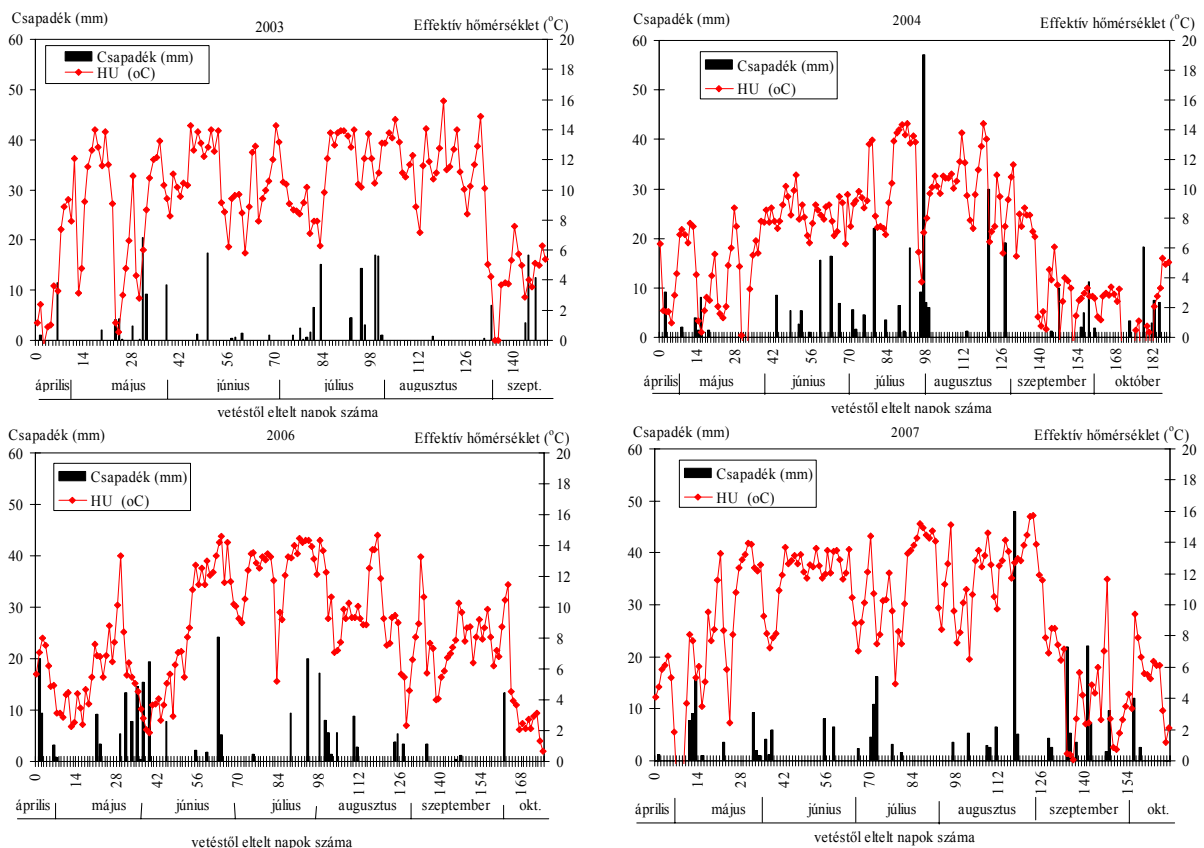
R: a relatív páratartalom

f(v): a szélsébség hatásfüggvénye

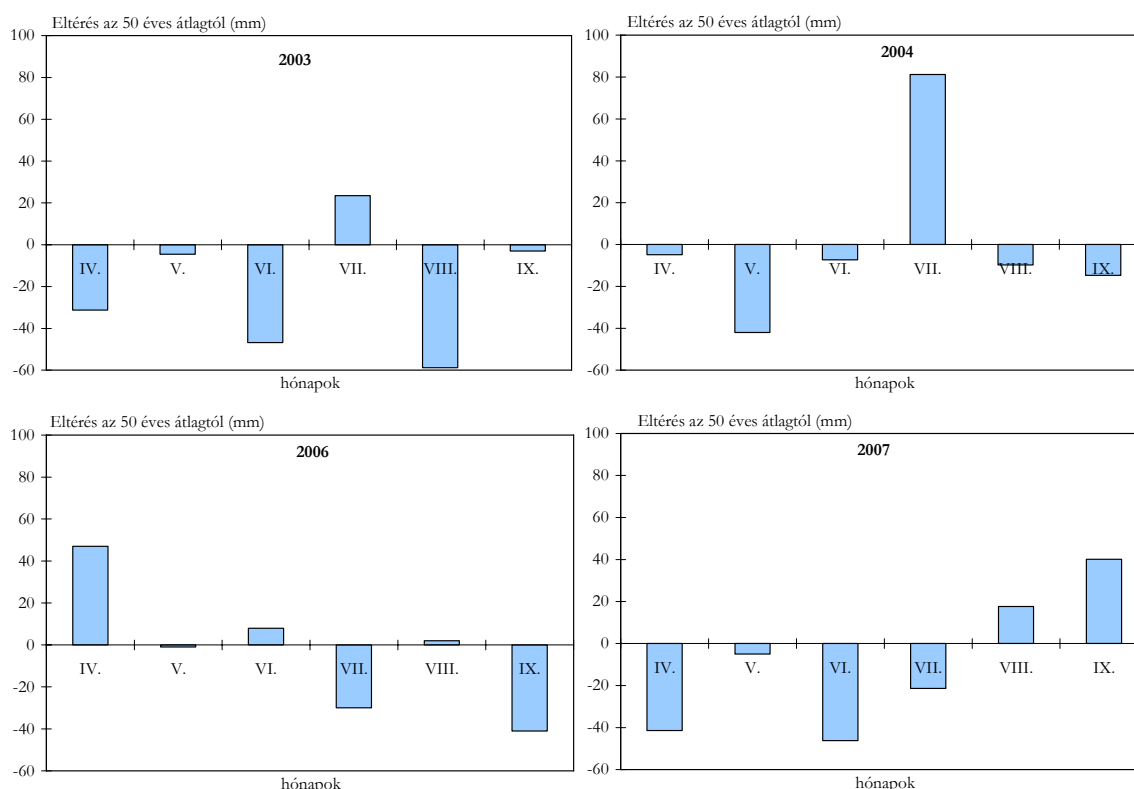
β: az oázishatás kifejezésére szolgáló tényező

2003 vegetációs időszaka jelentős csapadékhiánnyal (-56 mm) indult. A tenyészidőszakban a növény által hasznosított effektív hőösszeg (HU) 1406 °C, míg az évi potenciális evapotranspiráció (PET) 826 mm volt. A csapadékmennyiség és a potenciális evapotranspiráció közötti különbség -389 mm volt. A tenyészidőszak alatt lehullott csapadék mennyisége (215 mm) kevesebb, mint az ugyanezen időszak PET értéke (585 mm). A csapadékelátottság szempontjából 2003 az 50 éves idősorokat is figyelembe véve kedvezőtlen évnek tekinthető (1–2. ábra).

1. ábra: A lehullott csapadék mennyiség (mm) és az effektív hőmérséklet (°C) alakulása a tenyészidőszakban (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)



2. ábra: A tenyészidőszakban lezuhalt csapadékmennyiségének eltérése az 50 éves átlagtól (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)



Megjegyzés: az 50 éves átlag 340 mm.

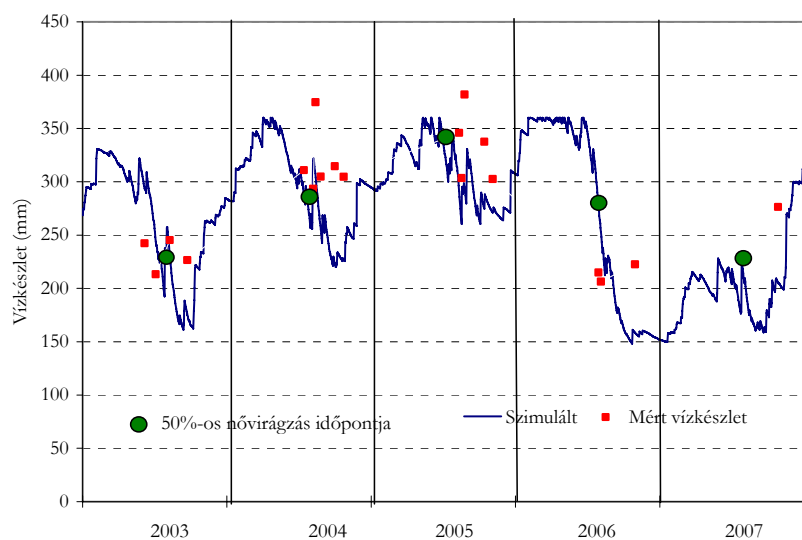
2004-ben mind a téli félévben (258 mm), mind a tenyészidőszakban (351 mm) a kukorica számára elegendő mennyiségű csapadék hullott. A csapadék eloszlása is kedvező volt. A kukorica fejlődése szempontjából kritikus július és augusztus hónapokban is volt elegendő csapadék. A két hónap alatt összesen 192 mm csapadék hullott. Ennek eredményeként ez az év az átlagosnál csapadékosabb volt. A kukorica a tenyészidőszakban a termésképzéshez 1181 °C -ot hasznosított. Az éves potenciális evapotranszspiráció 794 mm volt, ami 190 mm-rel több volt, mint az évi lezuhalt csapadék mennyiség (604 mm). A tenyészidőszakban a lezuhalt csapadék mennyiségét meghaladta ezen időszak PET értéke (604 mm). A 2004-es év csapadékelátottsága kismértékben tér el az 50 éves átlagtól (1–2. ábra).

2006 téli félévnek időjárása átlagosnak mondható. A tavasz jóval csapadékosabb volt az átlagnál, különösen az április (92 mm). A tenyészidőszakban az effektív hőösszeg 1441 °C volt. Az évi csapadék mennyiség 522 mm, míg a PET érték 845 mm, ami -323 mm különbséget jelentett. A tenyészidőszak PET értéke 632 mm, ami magasabb, mint az áprilistól-októberig lezuhalt csapadék mennyisége (277 mm). Összességében 2006. év időjárása átlagosnak tekinthető (1–2. ábra).

2007 év extrém időjárása szélsőséges termesztési körülményeket teremtett a kukorica számára. Júliusban a több napon keresztül tartó 40 °C-os hőség erőteljesen károsította a kukoricát. A hőséghez hosszan tartó csapadékhiány társult. 2006. szeptember és 2007. augusztus között egy teljes éven keresztül (megszakítás nélkül) minden hónap középhőmérséklete magasabb volt a sokévi átlagnál. A vizsgált évek közül ebben az évben volt a HU értéke a legmagasabb: 1519 °C. Az évi potenciális evapotranszpiráció 899 mm, amelyből a tenyészidőszakban a párologtatásához 651 mm-re lett volna szükség. Az előző évekhez hasonlóan az áprilistól szeptemberig lehullott csapadék mennyiség értékét a PET érték 370 mm-rel haladta meg. Az évi csapadék és a PET értéke közötti különbség -453 mm volt. Összességében elmondható, hogy 2007 év aszályos volt, nem kedvezett a kukoricatermesztésnek (1–2. ábra).

A kukorica termésmennyiségének alakulását nem csak a lehullott csapadék mennyisége, hanem a talajban lévő felvehető vízkészlet is nagymértékben befolyásolja. A 3. ábrán jól látható, hogy az aszályos 2003 és 2007 évben a talajban lévő vízkészlet az 50%-os nővirágzás időpontjától a vegetációs idő végéig sokkal kevesebb volt, mint az átlagos csapadékelátottságú években.

3. ábra: A talaj vízkészletének alakulása, mm
(1,2 m mélységben)
(Debrecen, 2003–2007)



A kísérlet beállítása (1984) óta a kukoricát hagyományos agrotechnika alkalmazásával monokultúrában termesztjük. Betakarításkor mérjük a szemtermés nedvességtartalmát, aminek segítségével a termést 15%-os nedvességtartalomra számítottuk át.

A kukoricalevél relatív klorofill koncentrációját a SPAD-502 típusú hordozható klorofill mérőműszerrel mértük, és értékeltük a növény tenyészidőszak alatti N-koncentrációját (4. ábra).

A méréseket N-kezelésenként, továbbá annak nem öntözött és öntözött változatán végeztük. A vizsgálatban szereplő hibridek: Debreceni 377, DK 391, Mv 277 és a Szegedi SC 352.

A talaj tápanyag-ellátottságának megítélésére a fiatal növények a legalkalmasabbak. Ugyanis ebben az időszakban még nem kezdődik el az intenzív szárazanyag-felhalmozódás és a növekedés. Ez kukoricánál 6. levél teljes kifejlődése után indul meg. Az egységnyi gyökérfelületre számított tápanyagfelvétel is viszonylag állandó és magas. A fiatal szövetekben a tápelemek koncentrációja általában a legmagasabb, a tápanyag-ellátottság hiányosságai kiélezettek. A tápanyag-ellátottság esetleges hiányosságait még pótolhatjuk fejtrágyával, levéltrágyázással. Ezeket a pótlólag adagolt tápanyagokat a növény még fel tudja használni a termés fokozására vagy a termés minőségének javítása érdekében (*Elek és Kádár* 1980). Ezért a méréseket minden évben már 6 leveles állapotban megkezdtük. A további méréseket a kukorica 12 leveles korában és az 50%-os nővirágzás időszakában végeztük. A vetéstől a betakarításig eltelt napok száma a hibridek átlagában vizsgálva évenként eltérő volt: 2003-ban 84-, 2004-ben 80-, 2006-ban 78- és 2007-ben 71 nap, ami a hőösszeg évenkénti alakulásával hozható összefüggésbe. A betakarítást 2003-ban 09.18-án, 2004-ben 10.27-én, 2006-ban 10.16-án és 2007-ben 10.08-án végeztük.

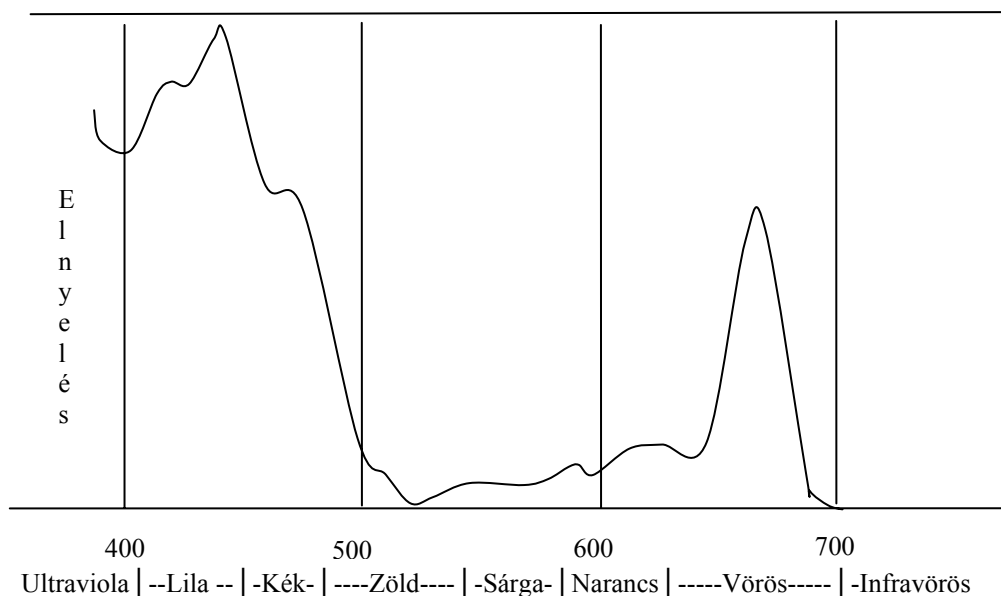
SPAD-502 klorofill mérőműszer: A mérés lényege, hogy a növényi levélben a klorofill a különböző hullámhosszúságú fényt különböző mértékben nyeli el. A klorofill fénykioltásának mértéke szoros összefüggésben van a levél klorofilltartalmával (*5. ábra*). Az ábrán látható, hogy a klorofill fényelnyelési csúcsa a kék és vörös hullámhosszon található. Alacsony a sugárzáskioltás a zöld- és sárga-, gyakorlatilag nulla az infravörös tartományban. Ebből adódóan érdemes az infravörös tartományt viszonyítási értéknek választani és vagy a kék, vagy a vörös tartományt mérésre használni. A SPAD-502 készülék mérésre vörös fényt használ, mivel ennek az elnyelését nem befolyásolja a levél karotin tartalma.

A készülék világító rendszerében két fotodióda található, egy vörös (650nm csúcsértékkel) és egy infravörös (940nm csúcsértékkel). A két fotodióda a fényt egyforma fényerősséggel váltakozva bocsátja ki. A megvilágított terület 6 mm². A kétféle fény áthalad a levéllemezen, és egy része visszaverődik (reflexió), egy része elnyelődik (abszorpció) és a maradék része áthatol a levélen (transzmisszió). A levélen áthatoló fényt egy szilikon fotodiódából álló érzékelő fogja fel, és alakítja át analóg elektromos jellé. A műszer az elektromos jelet felerősíti és számjeggyé alakítja.

4. ábra: SPAD-502 klorofillmérő készülék



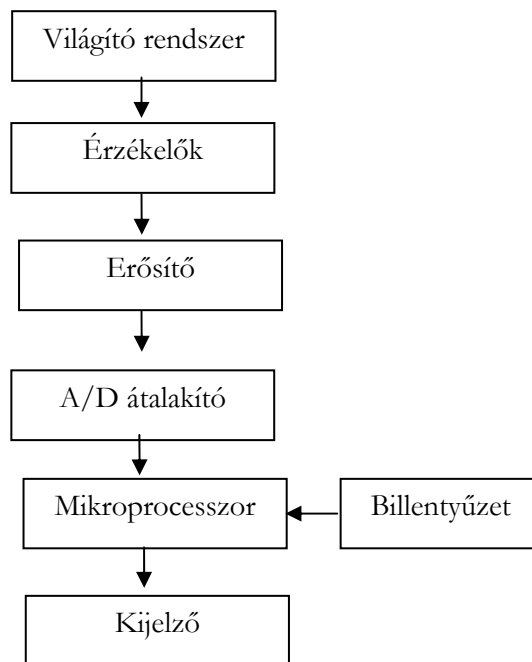
5. ábra: A klorofill színképnyelése



A számítás alapját a levélen áthaladt infravörös és vörös fény erősségének aránya képezi. Ez az arány annál nagyobb, minél több vörös fény nyelődik el a növény levelében, ami szoros összefüggést mutat a klorofilltartalommal. A SPAD-érték 0-tól 100 feletti értékig terjedhet (Minolta Camera Co. Ltd. 1989).

A mérés menetét az 6. ábra mutatja.

6. ábra: A SPAD-502 klorofillmérő működésének blokkdiagramja



Statisztikai módszer: A kukorica SPAD-értékei és a termesztési tényezők, valamint a termés és a termesztési tényezők közötti kapcsolatot *általános lineáris modellel* (GLM) értékeltük. Ez a módszer a hagyományos variancia-analízis és a lineáris regresszió-analízis ötvözete. Független változó a termés, független változó a műtrágya mennyisége, az év és az öntözés. A módszer lehetőséget nyújt a kezelések termésre gyakorolt hatásának kimutatására, illetve a lineáris modell megfelelőségének tesztelésére (Huszvay 2001).

A SPAD-értékek és SPAD-klorofillkoncentráció, valamint a termés középértékeinek összehasonlítását *Duncan-teszttel* végeztük, amelynek lényege olyan homogén csoportok képzése, amelyeken belül a SPAD-értékek, valamint a terméseredmények 5%-os szignifikancia szint mellett nem különböznek egymástól. A módszer jól alkalmazható a kezelések középértékeinek többszörös összehasonlítása során, mivel ezt alkalmazva az elsőfajú hiba (α -hiba) valószínűsége nem kumulálódik.

A N-műtrágya és a SPAD-érték közötti összefüggést, valamint a N-műtrágya és a termés közötti összefüggést *logaritmikus függvényvel* vizsgáltuk.

A logaritmikus függvény alakja a következő volt:

$$y=b_0+b_1\ln x$$

ahol:

y: SPAD vagy a termés

b_0 : állandó

b_1 : regressziós koeficiens

A SPAD-érték és a termés közötti kapcsolatot *lineáris függvény* segítségével értékeltük.

A lineáris függvény alakja az alábbi volt:

$$y = b_0 + b_1 \text{SPAD}$$

ahol:

y: termés (t/ha)

b_0 : állandó

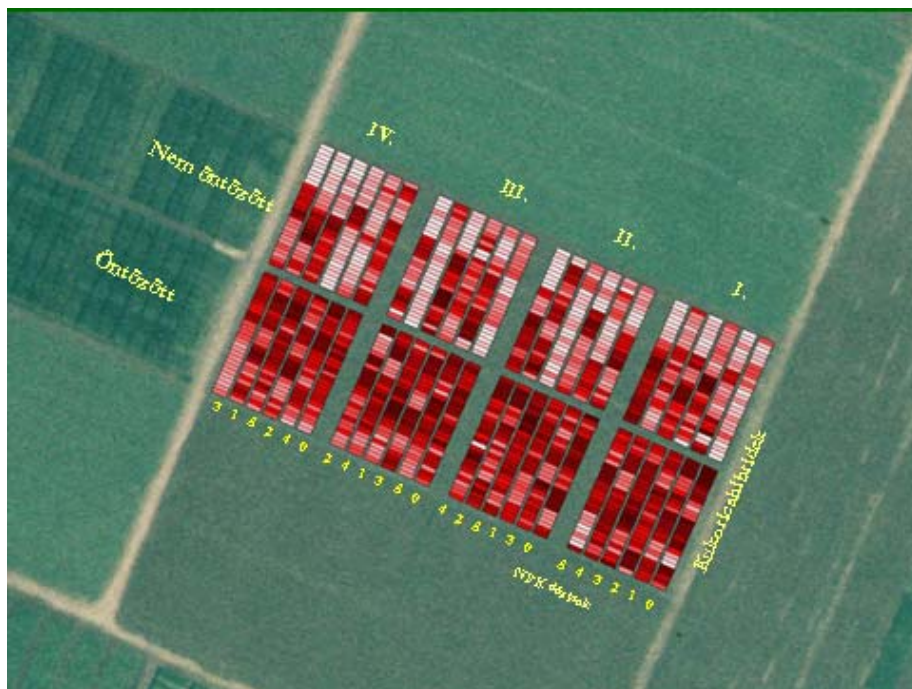
b_1 : a lineáris tag együtthatója

A függvényeket regresszió-analízissel, az eltérésnégyzetösszeg minimalizálásával illesztettük. A függvények illeszkedésének jóságát az R-értékkel és a Hiba MS nagyságával adtuk meg. A kiértékelést az SPSS for Windows 13.0 statisztikai programcsomaggal végeztük.

Háromtényezős sávos kísérleti elrendezés: A háromtényezős – A tényező az öntözés (2 változat), a B tényező a műtrágyázás (6 műtrágya-hatóanyag kezelés) és a C tényező a hibridek (28 fajta) – szabadföldi tartamkísérlet négyismétléses, sávos elrendezésű (7. ábra).

A blokk itt egyenlő az ismétléssel. A főparcellákon a műtrágyázás és a hibrid kezeléseket helyeztük el, öntözött és nem öntözött változatban. Az egymásra keresztben elhelyezett kezeléseket (műtrágya, hibrid) hatásait így egyforma pontossággal tudtuk meghatározni. Mivel a vizsgálat során a SPAD-értékek elemzése nem terjedt ki a hibridek közötti különbségekre, a háromtényezős kísérletet kéttényezős sávos elrendezésként értékeltük.

7. ábra: Háromtényezős szántóföldi tartamkísérlet, Debrecen
(genotípus x öntözés x tápanyag)



A háromtényezős sávos elrendezés matematikai modellje a következő:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + A_j + E_{ij} + B_k + AB_{jk} + E_{ijk} + C_l + AC_{jl} + E_{ijl} + BC_{jl} + E_{ijkl}$$

ahol:

E: független, normál eloszlású, nulla várható értékű sokaság

Y_{ijk} : az A tényező k-adik szintjéhez, a B j-edik szintjéhez, az i-edik szintjéhez, illetve az l-edik ismétléshez kapcsolódó megfigyelés

μ : átlag (general mean)

R_i : i-edik blokkhatás

A_j : az A tényező j-edik értékének hatása

E_{ij} : Az A tényező hibája

B_k : a B tényező k-adik értékének hatása

AB_{jk} : az A és a B tényező kölcsönhatása

E_{ijk} : Az A tényező és a B tényező kölcsönhatásának hibája

C_l : A C tényező l-edik értékének hatása

AC_{jk} : Az A és a C tényező kölcsönhatása

E_{ijl} : Az A és a C tényező kölcsönhatásának hibája

BC_{jl} : A B tényező és a C tényező kölcsönhatása

E_{ijkl} : A B és a C tényező kölcsönhatásának hibája

Az évjáratok értékelésekor az év hatását ismételt mérési modellben értékeltük. Ilyenkor az évjárat hatás minden egyes kezelést befolyásolt, ezért a függetlenség feltétele nem teljesült. Az évek hatása egy split-plot elrendezés főparcellán elhelyezett kezelésének fogható fel. Az évek közötti különbségek elbírálása nem volt elsődleges célunk, viszont az évek és kezelések közötti kölcsönhatás értékelését minél pontosabban szeretnénk volna elvégezni.

A GLM modell beállításait az SPSS-ben nem a párbeszédpanel segítségével, hanem egy rövid, pársoros syntaxszal végeztük. Ez a program az SPSS syntax editor ablakában futtatható, és az elemzések jól automatizálhatóak vele. A lenti kódrészlet a háromtényezős kísérlet évjárat hatás elemzését is lehetővé tevő GLM beállításait tartalmazza.

A program a következő:

Syntax:

UNIANOVA

spad BY ismétlés év öntözés npk hibridek

/METHOD = SSTYPE(3)

/INTERCEPT = INCLUDE

/CRITERIA = ALPHA(.05)

/RANDOM = ismétlés

/DESIGN = ismétlés év öntözés év*öntözés ismétlés*öntözés*év

hibridek hibridek*öntözés hibridek*év ismétlés*hibridek*öntözés*év

npk npk*öntözés npk*év ismétlés*öntözés*npk*év

npk*hibridek

/*SAVE =PRED.

Az SPSS eredménytáblázata eltér *Sváb* (1981) könyvében közölt mezőgazdaságban megszokott sávós elrendezés varianciatáblázatától. A statisztikai programban azonban az eredménytáblázatok szerkezete és formája Saw Basic nyelven könnyen megváltoztatható, így a korábban megszokott formátumú varianciatáblázatok állíthatók elő. A legcélravezetőbb az autoscript fájlba beírni a módosításokat (*Huzyvai*, 2004), így a GLM futtatása után automatikusan végrehajtódik a lenti eljárás, ami elvégzi a táblázat formázását.

```
Sub UNIANOVA_Table_TestofBetweenSubjectsMixedEffects_Create(objTable As Object, objOutputDoc As Object, lngIndex As Long)
'Autoscript
Az esemény: GLM futtatása
```

```
    Dim bolSelection As Boolean
    Call HideRowLabelsAndData(objTable, "ismétlés *", bolSelection)
```

```
End Sub
```

```
Sub HideRowLabelsAndData(objPivotTable As Object, strSearchString As String, bolSelect As Boolean)
```

```
'Hatása: A címke és a hozzá tartozó adat törlése
```

```
Dim objRowLabels As ISpssLabels
Dim intCurRow,intCurCol As Integer
bolSelect = False
Set objRowLabels = objPivotTable.RowLabelArray
For intCurRow = 0 To objRowLabels.NumRows - 1
    For intCurCol = 0 To objRowLabels.NumColumns - 1
        If InStr(CStr(objRowLabels.ValueAt(intCurRow,intCurCol)), strSearchString) Then
            objRowLabels.HideLabelsWithDataAt intCurRow, intCurCol
            bolSelect = True
        End If
    Next intCurCol
Next intCurRow
End Sub
```

5. EREDMÉNYEK

„Számptalan kísérlet sem képes bizonyítani azt, hogy igazam van; de egyetlen kísérlet is bebizonyítja, ha nincs igazam.”

(Einstein)

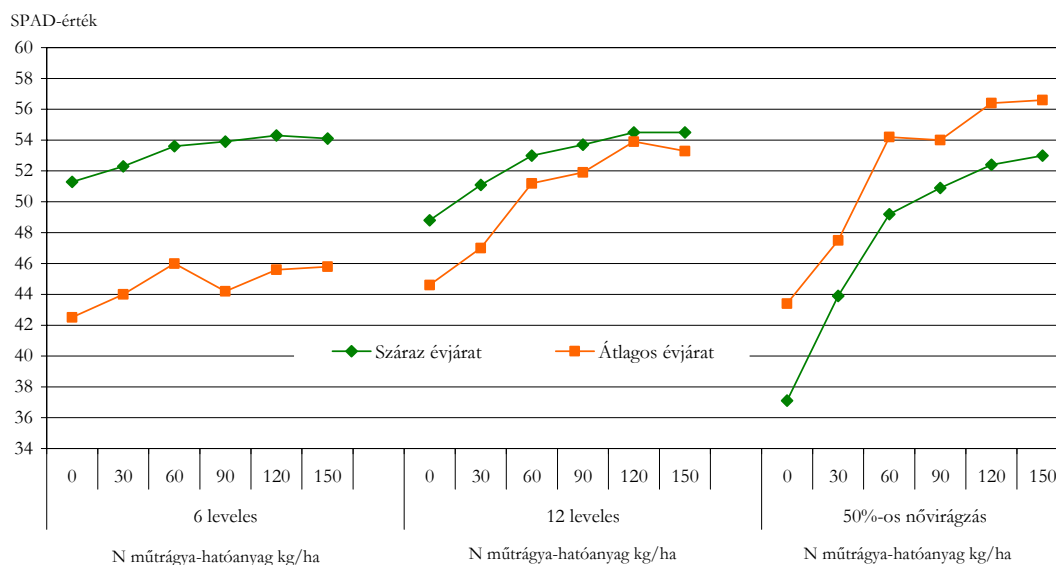
5.1. A műtrágyázás hatása a kukorica SPAD-értékére

A kutatás során arra kerestük a választ, hogy milyen hatása van a műtrágyázásnak, az öntözésnek és az évjáratnak, valamint a három tényező kölcsönhatásának a kukorica SPAD-értékére. Az értékelést a vizsgált hibridek adatainak átlagában végeztük. A műtrágya kezelésekre hatáselemzésének megbízhatóságát nagymértékben növeli, hogy az egyetemi szántóföldi tartamkísérletben a kezelésekre tartamhatása meghaladja a húsz évet. A kutatási eredmények alapján adatokat nyertünk ahhoz, hogy SPAD-502 típusú klorofill mérőműszerrel jól jellemezzük a kukoricánövénny N-ellátottságát.

5.1.1. A műtrágyázás hatása nem öntözött körülmények között

A műtrágyázás hatását a debreceni szántóföldi tartamkísérlet nem öntözött változatában évenként, valamint száraz és átlagos csapadékellátottságú évekre elkülönítve elemeztük. A varianciaanalízis eredménye szerint a műtrágyázás a vizsgált évjáratok mindegyikében – mindhárom mérési időpontban – szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte a SPAD-értékeket. Az év x NPK (A x B) kölcsönhatás 0,1%-os szinten volt szignifikáns. Ez a kölcsönhatás azt mutatja, hogy a műtrágyázás hatása évjáratától függően változott, valamint az 50%-os nővirágzás időpontjához közeledve az évjárat hatása egyre jelentősebb, amit a kölcsönhatás SS értéke is bizonyít (3–5. táblázat, 8. ábra). Az átlagos csapadékellátottságú évjáratban a 12 leveles állapotig az évjárat módosító hatása nő, a virágzás időpontjában ez a hatás csökken ($SS=1830,5$; $SS=11353,9$; $SS=8191,5$). A Duncan-féle teszttel 5%-os szignifikancia szint mellett a műtrágya-hatóanyag kísérletek eredményeit elemezve a száraz évjáratban több homogén csoportot különítettünk el, mint az átlagos évjáratban. Statisztikailag igazoltuk, hogy száraz és átlagos csapadékellátottságú éveken egyaránt a legnagyobb SPAD-érték eléréséhez a 6 leveles korban vizsgálva a 60 kg N/ha dózis, a 12 leveles korban és az 50%-os nővirágzáskor vizsgálva a 120 kg N/ha dózis elegendőnek bizonyult (6–8. táblázat).

8. ábra: SPAD-értékek a kukoricánövény fejlettségétől, az évjárat batástól, valamint a N-hatóanyag dózistól függően (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)



3. táblázat. A 6 leveles kukorica SPAD-értékének összegvont varianciaanalízis eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száraz évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	220,9	3	0,8 ^{nsz}	449,3	3	0,5 ^{nsz}	589,4	3	2,0 ^{nsz}
Hiba	265,0	3		289,4	1		690,0	7,1	
Év (A)	901,3	1	10,2*	23377,3	1	74,7 ^{nsz}	125135,5	3	406,4 ^{***}
Hiba (a)	265,0	3		312,8	1		691,2	6,7	
NPK (B)	3257,2	5	28,3 ^{***}	3663,3	5	16,4 ^{***}	6388,9	5	39,3 ^{***}
Hiba (b)	76819,1	3342		117287,2	2624		194106,3	5966	
Év x NPK (A x B)	2041,1	5	17,8 ^{***}	1830,5	5	8,2 ^{***}	4526,2	15	9,3 ^{***}
Hiba (a x b)	76819,1	3342		117287,2	2624		194106,3	5966	

***P=0,1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

4. táblázat. A 12 leveles kukorica SPAD-értékének összegvont varianciaanalízis eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száraz évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	258,2	3	1,5 ^{nsz}	128,8	1	0,2 ^{nsz}	374,5	3	0,8 ^{nsz}
Hiba	171,1	3		669,6	1		834,0	5,1	
Év (A)	1395,1	1	24,5*	17425,2	1	26,0 ^{nsz}	23811,6	3	44,6 ^{***}
Hiba (a)	171,1	3		669,6	1		879,9	4,9	
NPK (B)	11060,2	5	91,5 ^{***}	28495,2	5	304,8 ^{***}	38882,9	5	352,3 ^{***}
Hiba (b)	80804,3	3342		38999,9	2086		119804,1	5428	
Év x NPK (A x B)	7351,9	5	60,8 ^{***}	11353,9	5	121,5 ^{***}	21218,0	15	64,1 ^{***}
Hiba (a x b)	80804,3	3342		38999,9	2086		119804,1	5428	

***P=0,1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

5. táblázat. Az 50%-os műtrágyázás kori kukorica SPAD-értékének összevont varianciaanalízis eredménye
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	3139,3	3	1,3 ^{nsz}	1,5	1	0,0 ^{nsz}	2903,1	3	1,4 ^{nsz}
Hiba	2494,7	3		886,8	1		3572,4	5	
Év (A)	342,2	1	0,4 ^{nsz}	701,9	1	0,8 ^{nsz}	12501,7	3	5,4 ^{nsz}
Hiba (a)	2494,7	3		886,8	1		3838,4	5	
NPK (B)	90414,7	5	323,4 ^{***}	55049,1	5	448,8 ^{***}	136442,4	5	622,2 ^{***}
Hiba (b)	186883,2	3342		51169,1	2086		238052,2	5428	
Év x NPK (A x B)	24580,5	5	87,9 ^{***}	8191,5	5	66,8 ^{***}	34269,2	15	52,1 ^{***}
Hiba (a x b)	186883,2	3342		51169,1	2086		238052,2	5428	

***P=0,1%, nsz= nem szignifikáns

6. táblázat. A 6 leveles kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékkel
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek						
	2003	2004	2006	2007	Száras	Átlagos	Összevont
	Évek				Évjáratok		
nem műtrágyázott	50,8a	44,6a	40,1a	51,9a	51,3a	42,5a	47,4a
N ₃₀	52,2b	46,9b	40,5a,b	52,6a,b	52,3b	44,0b	48,7b
N ₆₀	53,8c	49,2c,d	42,1c	53,4b	53,6c	46,0c	50,3c,d
N ₉₀	54,9d	47,5b	40,3a,b	52,6a,b	53,9cd	44,2b	49,7c
N ₁₂₀	55,1d	49,0c	41,6b,c	53,3b	54,3d	45,6c	50,5d
N ₁₅₀	55,5d	50,4d	40,3a,b	52,1a	54,1cd	45,8c	50,4d
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	53,4	48,6	41,0	52,8	53,6	45,1	49,7

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

7. táblázat. A 12 leveles kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékkel
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek						
	2003	2004	2006	2007	Száras	Átlagos	Összevont
	Évek				Évjáratok		
nem műtrágyázott	47,0a	43,6a	45,4a	51,2a	48,8a	44,6a	47,2a
N ₃₀	50,8b	47,4b	46,7b	51,6b,c	51,1b	47,0b	49,6b
N ₆₀	53,5c	55,9c	47,7c	52,3c	53,0c	51,2c	52,3c
N ₉₀	55,3d	56,1c	48,7d	51,5b,c	53,7d	51,9c	53,0d
N ₁₂₀	56,3e	60,3e	49,1d	52,2b,c	54,5e	53,9d	54,3e
N ₁₅₀	56,0e	58,6d	49,4d	52,5c	54,5e	53,3d	54,0e
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	54,4	55,7	48,3	52,0	53,4	51,5	52,6

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

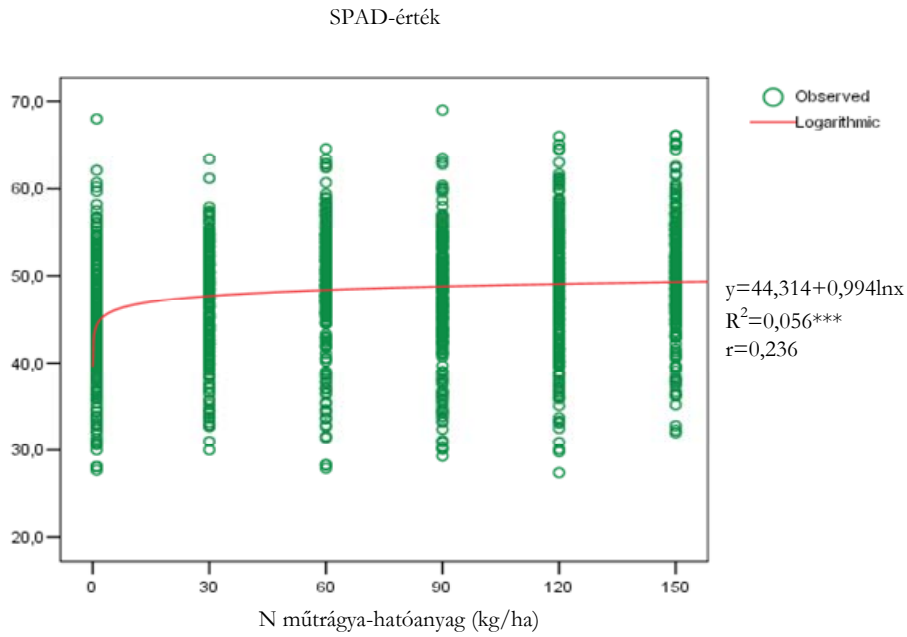
8. táblázat. Az 50%-os nővirágzás kori kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékekkel
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek				Száraz	Átlagos	Összevont
	2003	2004	2006	2007			
	Évek				Évjáratok		
nem műtrágyázott	33,3a	40,5a	45,6a	42,1a	37,1a	43,4a	39,5a
N ₃₀	42,0b	45,4b	49,0b	46,3b	43,9b	47,5b	45,2b
N ₆₀	49,6c	55,8c	52,9c	48,6c	49,2c	54,2c	51,1c
N ₉₀	52,6d	56,2c	52,4c	48,6c	50,9d	54,0c	52,1d
N ₁₂₀	54,8e	59,4d	54,1d	49,2c	52,4e	56,4d	53,9e
N ₁₅₀	55,7e	58,7d	55,0d	49,4c	53,0e	56,6d	54,4e
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	50,9	55,1	52,7	48,4	49,9	53,7	51,3

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

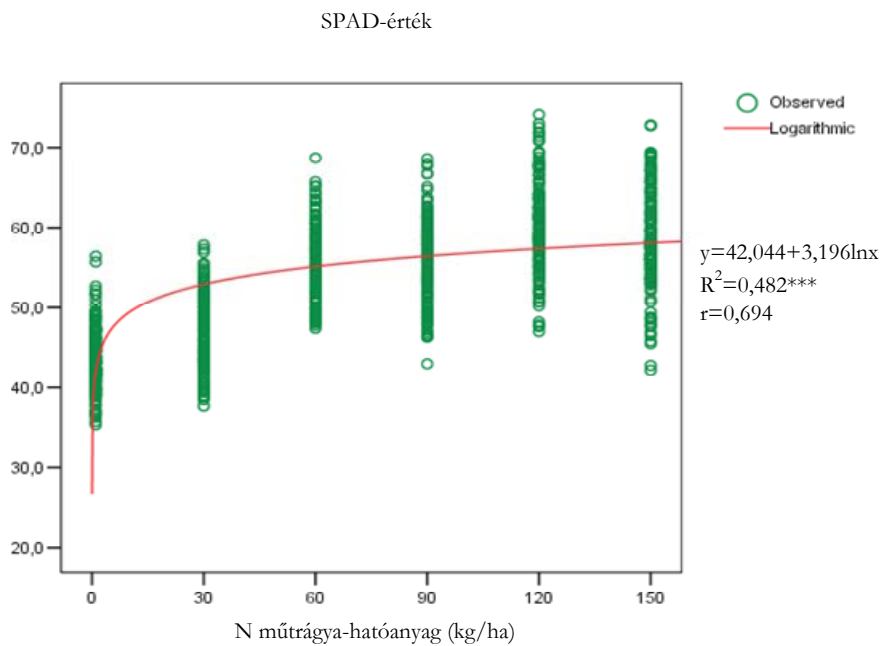
A legalacsonyabb SPAD-értékeket a vizsgált évek mindegyikében – mindhárom mérési időpontban – az 1984 óta nem műtrágyázott parcellákon mértük, a nitrogén hiány következtében kevés klorofill képződött a levelekben, így a sárga pigmentek, karotin és a xantofill került túlsúlyba (sárga levél). A legnagyobb SPAD-értéket 2004-ben (60,3) mértük. A műtrágyázott parcellák átlagos SPAD-értékei a száraz évjáratban, a 6 és 12 leveles állapotban (53,6; 53,4) nagyobbak voltak, mint az átlagos évjáratban (45,1; 51,5). Az 50%-os nővirágzás időpontjában viszont az átlagos évjáratban nagyobb SPAD-értéket mértünk (53,7), mint a száraz évjáratban (49,9). A különbség minden esetben szignifikánsan ($P < 0,001$) igazolt. A vizsgálat körülményei között a műtrágyázás hatása – mindhárom mérési időpontban – 2004-ben volt a legnagyobb. A műtrágyázott kezelések átlagos SPAD-értékei – a nem műtrágyázott kezelésekhez képest – 6 leveles állapotban 4,0, 12 leveles állapotban 12,1 és az 50%-os nővirágzáskor 14,7 értékkel voltak nagyobbak. A vízhiány a trágyahatást 2007-ben csökkentette a legnagyobb mértékben, műtrágyázás SPAD-érték növelő hatása a 6 és 12 leveles állapotban mindössze 0,8–0,8 és az 50%-os nővirágzáskor 6,3 volt. Száraz évjáratban a műtrágyázás átlagos SPAD-értéket növelő hatása 6 és 12 leveles állapotban kisebb, míg 50%-os nővirágzáskor nagyobb volt, mint az átlagos évjáratban. A műtrágyázás és a SPAD-érték közötti kapcsolatot regresszió analízissel vizsgáltuk. A független változó a műtrágyázás logaritmikus tagja, a függő változó a SPAD-érték volt. Megvizsgáltuk az egyenlet és paramétereinek szignifikanciáját is. Az egyenlet paraméterei a t-próba alapján 0,001% szinten szignifikánsak. A két változó között szoros kapcsolat 2004-ben 12 leveles (0,694) és 50%-os nővirágzás időpontjában (0,737) volt (9–11 ábra). A leggyengébb összefüggés a vizsgált évek közül a legszárazabb 2007 évben volt.

9. ábra: A műtrágyázás és SPAD-érték közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye
(6 leveles állapot, nem öntözött változat)
(Debrecen, 2004)



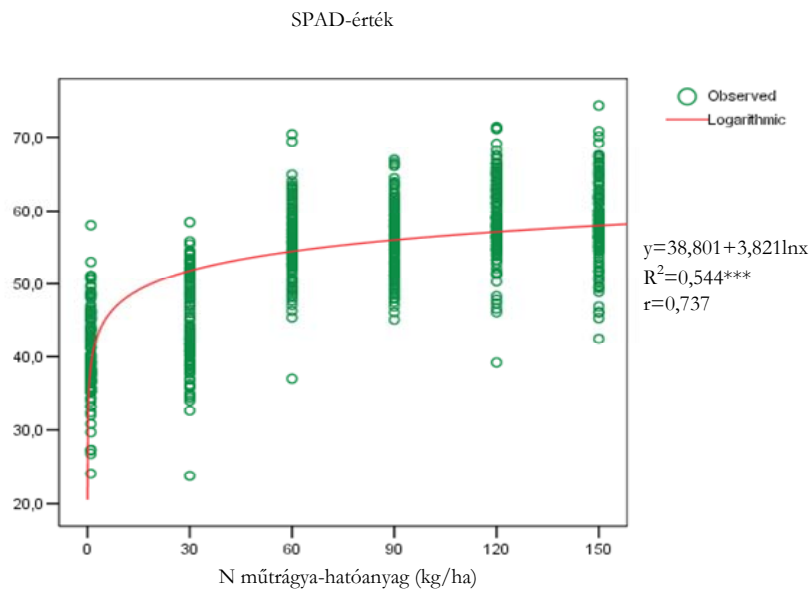
***P=0,1%

10. ábra: A műtrágyázás és SPAD-érték közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye
(12 leveles állapot, nem öntözött változat)
(Debrecen, 2004)



***P=0,1%

11. ábra: *A műtrágyázás és SPAD-érték közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (50%-os nővirágzás, nem öntözött változat) (Debrecen, 2004)*



***P=0,1%

Összegzésként megállapítottuk, hogy a változók között 6 leveles állapotban gyenge a kapcsolat, ami vegetációs időszak előrehaladtával egyre szorosabbá vált (9. táblázat).

9. táblázat. *A műtrágyázás és SPAD-érték közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)*

Évek	Fejlettségi állapot			
	6 leveles	12 leveles	50%-os nővirágzás	
2003	r	0,365***	0,543***	0,657***
	b ₀	50,3***	46,4***	31,8***
	b ₁	0,9***	1,9***	4,5***
2004	r	0,237***	0,694***	0,737***
	b ₀	44,3***	42,0***	38,8***
	b ₁	1,0***	3,2***	3,8***
2006	r	0,045 ^{nsz}	0,326***	0,528***
	b ₀	40,2***	45,0***	45,0***
	b ₁	0,2 ^{nsz}	0,8***	1,8***
2007	r	0,048 ^{nsz}	0,067*	0,378***
	b ₀	52,1***	51,1***	42,0***
	b ₁	0,2 ^{nsz}	0,2*	1,5***
Összevont	r	0,136***	0,392***	0,556***
	b ₀	47,3***	46,6***	38,5***
	b ₁	0,6***	1,4***	3,0***

***P=0,1%, *P=5%, nsz=nem szignifikáns

5.1.2. Műtrágyázás hatása öntözött körülmények között

A szántóföldi tartamkísérlet lehetővé tette a műtrágyahatás vizsgálatát öntözött változatban is. A varianciaanalízis alapján a műtrágyázás hatása a vizsgált négy évben és az évenkénti három mérési időpontban, statisztikailag ($P < 0,001$) bizonyított. Az év x NPK kölcsönhatás 0,1%-os szinten volt szignifikáns, vagyis az NPK hatása a SPAD-értékre évenként változott (10–12. táblázat).

10. táblázat. A 6 leveles kukorica SPAD-értékének összegvont varianciaanalízis eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	418,1	3		1052,2	3	3,8 ^{nsz}	900,2	3	1,9 ^{nsz}
Hiba				102,4	1,1		629,4	4,1	
Év (A)				47248,1	1	475,0*	89161,5	2	262,3***
Hiba (a)				99,5	1		658,1	3,9	
NPK (B)	1020,4	5	8,3***	1405,1	5	7,4***	2268,5	5	13,6***
Hiba (b)	35108,3	1431		100416,0	2624		135524,3	4055	
Év x NPK (A x B)				3425,0	5	17,9***	3533,0	10	10,6***
Hiba (a x b)				100416,0	2624		135524,3	4055	

***P=0,1%, *P=5%, nsz=nem szignifikáns

11. táblázat. A 12 leveles kukorica SPAD-értékének összegvont varianciaanalízis eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	24,5	3		45,1	1	6,3 ^{nsz}	65,0	3	3,4 ^{nsz}
Hiba				7,2	1		49,5	7,7	
Év (A)				3211,9	1	448,5*	5105,8	2	660,8**
Hiba (a)				7,2	1		7,7	2	
NPK (B)	2427,6	5	21,6***	21840,1	5	222,1***	22687,3	5	217,9***
Hiba (b)	32202,3	1431		41022,5	2086		73224,9	3517	
Év x NPK (A x B)				8535,3	5	86,8***	11411,0	10	54,8***
Hiba (a x b)				41022,5	2086		73224,9	3517	

***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

12. táblázat. Az 50%-os nővirágúskori kukorica SPAD-értékének összegvont varianciaanalízis eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	1426,7	3	0,9 ^{nsz}	43,9	1	0,2 ^{nsz}	1427,0	3	1,3 ^{nsz}
Hiba	1551,0	3		253,1	1		1823,7	5	
Év (A)	612,5	1	1,2 ^{nsz}	204,6	1	0,8 ^{nsz}	1063,0	3	0,9 ^{nsz}
Hiba (a)	15501,0	3		253,1	1		1941,7	5	
NPK (B)	160717,8	5	818,2***	47137,2	5	323,3***	174684,2	5	987,1***
Hiba (b)	131286,1	3342		60825,5	2086		192111,6	5428	
Év x NPK (A x B)	5954,9	5	30,3***	6602,0	5	45,3***	22312,5	15	42,0***
Hiba (a x b)	131286,1	3342		60825,5	2086		192111,6	5428	

***P=0,1%, nsz= nem szignifikáns

A nem öntözött változathoz hasonlóan az átlagos csapadékellátottságú évjáratban az év x NPK kölcsönhatás SS értéke 12 leveles állapotig nőtt, majd csökkenést mutatott (SS=3425,0; SS=8535,3, SS=6602,0). A műtrágyakezelések – Duncan-teszt szerint, száraz és átlagos csapadékellátottságú évjáratban egyaránt – 6 leveles állapotban mindössze két–két, 12 leveles állapotban 3–4, és az 50%-os nővirágzaskor 5–6 jól elkülöníthető homogén csoportot képeztek (13–15. táblázat, 12. ábra). A 6 leveles állapotban a 30 kg N/ha dózis a kontrollhoz viszonyítva megbízhatóan növelte a SPAD-értéket. A N-dózis további növelése nem indokolt. A 12 leveles és az 50%-os nővirágzású kukoricánál a kontrollhoz viszonyítva csak a hektáronkénti 120 kg/ha adagú N-hatóanyag eredményezte a SPAD-érték szignifikáns növekedését. A műtrágyázás hatása öntözött változatban – az 50%-os nővirágzás időpontjában – jelentősebb volt, mint a nem öntözött változatban. Az évenkénti értékelés alapján megállapítottuk, hogy a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában, mindhárom mérési időpontban, – a nem öntözött változathoz hasonlóan – 2004-ben volt a legnagyobb a SPAD-érték (3,6; 9,4; 12,1). Mind a száraz, mind az átlagos csapadékellátottságú évjáratban 6 leveles állapotban, a műtrágya-hatóanyag kezelések átlaga jelentős mértékben eltért, a 12 leveles és az 50%-os nővirágzás állapotban a két évjárat, hasonlóan alakult. A regresszió analízis eredménye alapján megállapítottuk, hogy mindhárom mérési időpontban a két változó között szignifikáns ($P < 0,001$) kapcsolat van. Az 50%-os nővirágzaskori mérések esetében a legszorosabb összefüggést ($r=0,728$) 2003-ban kaptuk. A vizsgált évek mindegyikében az 50%-os nővirágzaskori adatok szorosabb összefüggést mutattak, mint 6, illetve 12 leveles állapotban mért adatok (16. táblázat).

13. táblázat. A 6 leveles kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékekkel (öntözött változat) (Debrecen, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek					
	2004	2006	2007	Száraz	Átlagos	Összevont
	Évek			Évjáratok		
nem műtrágyázott	46,0a	39,0b,c	49,9a	49,9a	42,8a	45,3a
N ₃₀	48,5b	38,5b	51,7b	51,7b	43,9b	46,7b
N ₆₀	48,9b	40,1c	52,5b	52,5b	44,9b	47,5b
N ₉₀	49,2b,c	39,9b,c	51,7b	51,7b	45,0b	47,3b
N ₁₂₀	50,1c	38,8b,c	52,3b	52,3b	45,0b	47,5b
N ₁₅₀	51,2d	36,9a	52,2b	52,2b	44,7b	47,3b
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	49,6	38,8	52,1	52,1	44,7	47,3

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

14. táblázat. *A 12 leveles kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékekkel*
(öntözött változat)
(Debrecen, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek					
	2004	2006	2007	Száraz	Átlagos	Összevont
	Évek			Évjáratok		
nem műtrágyázott	42,1a	45,3a	48,5a	48,5a	43,9a	45,8a
N ₃₀	43,9b	46,0b	49,3a,b	49,3a,b	45,1b	46,8b
N ₆₀	50,9c	48,9c	51,3c	51,3c	49,7c	50,4c
N ₉₀	52,1d	48,0c	49,9b	49,9b	49,8c	49,8c
N ₁₂₀	55,2e	48,8c	51,7c	51,7c	51,6d	51,6d
N ₁₅₀	55,9e	48,0c	52,1c	52,1c	51,4d	51,7d
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	51,6	48,0	50,8	50,8	49,5	50,1

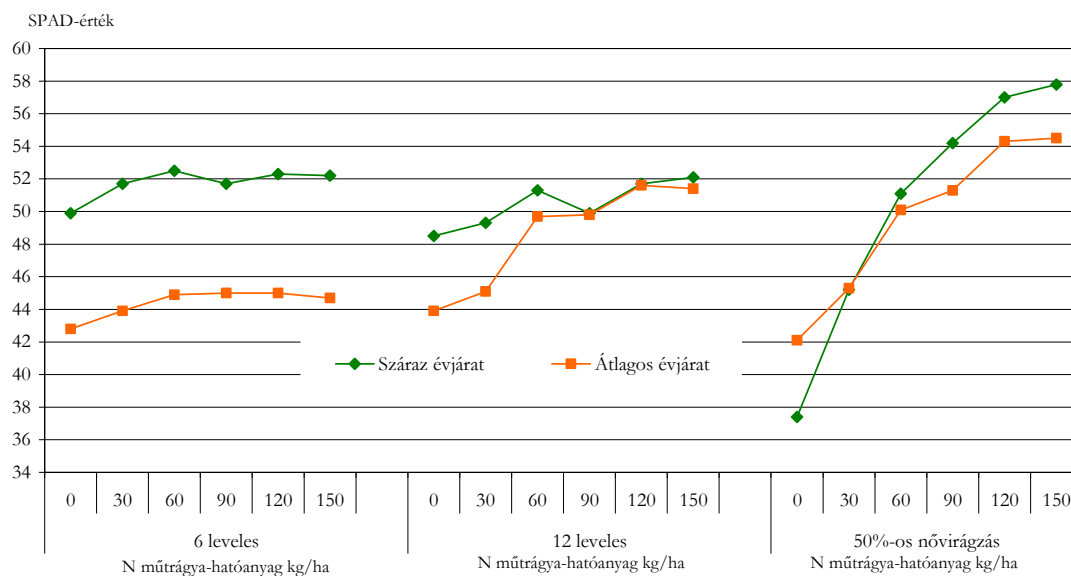
Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

15. táblázat. *Az 50%-os nővirágzás kori kukorica N-ellátottságának jellemzése SPAD-értékekkel*
(öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	SPAD-értékek						
	2003	2004	2006	2007	Száraz	Átlagos	Összevont
	Évek				Évjáratok		
nem műtrágyázott	34,9a	39,9a	43,7a	40,8a	37,4a	42,1a	39,2a
N ₃₀	44,1b	43,4b	46,8b	46,7b	45,2b	45,3b	45,3b
N ₆₀	51,0c	49,5c	50,5c	51,2c	51,1c	50,1c	50,7c
N ₉₀	54,6d	52,6d	50,3c	53,8d	54,2d	51,3d	53,1d
N ₁₂₀	57,4e	56,8e	52,5d	56,5e	57,0e	54,3e	56,0e
N ₁₅₀	58,7f	57,5e	52,2d	56,7e	57,8f	54,5e	56,5e
Műtr-hatóa. kezelések átlaga	53,2	52,0	50,4	53,0	53,1	51,1	52,3

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

12. ábra: SPAD-értékek a kukoricanövény fejlettségétől, az évjárat hatástól, valamint a N-hatóanyag dózistól függően (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)



16. táblázat. A műtrágyázás és SPAD-érték közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Évek		Fejlettségi állapot		
		6 leveles	12 leveles	50%-os nővirágzás
2003	r			0,728***
	b ₀			33,2***
	b ₁			4,7***
2004	r	0,260***	0,621***	0,633***
	b ₀	45,7***	40,4***	37,8***
	b ₁	0,9***	2,7***	3,4***
2006	r	0,025 ^{nsz}	0,279***	0,522***
	b ₀	39,2***	45,1***	43,1***
	b ₁	-0,1 ^{nsz}	0,7***	1,7***
2007	r	0,157***	0,217***	0,693***
	b ₀	50,0***	48,2***	39,6***
	b ₁	0,5***	0,6***	3,1***
Összevont	r	0,095***	0,355***	0,654***
	b ₀	45,3***	45,1***	37,8***
	b ₁	0,4***	1,6***	3,4***

***P=0,1%, nsz=nem szignifikáns

5.2. Az öntözés hatása a kukorica SPAD-értékére

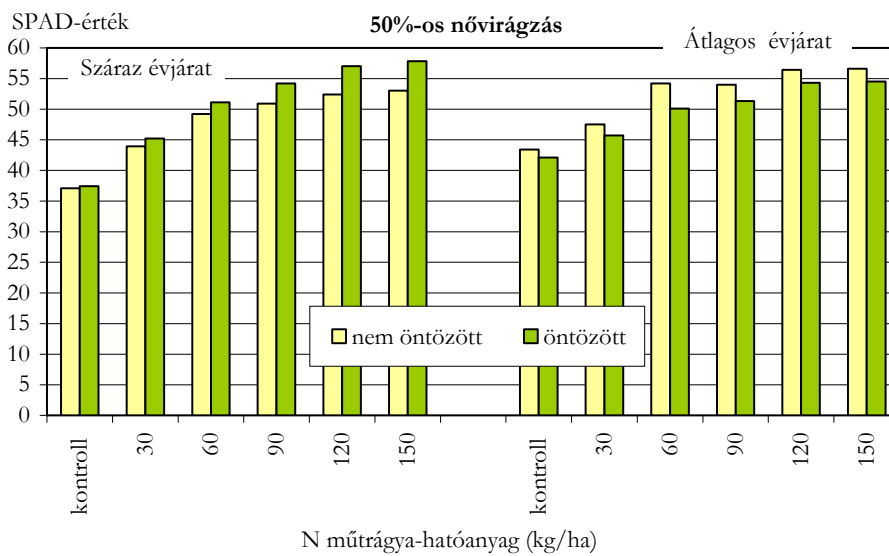
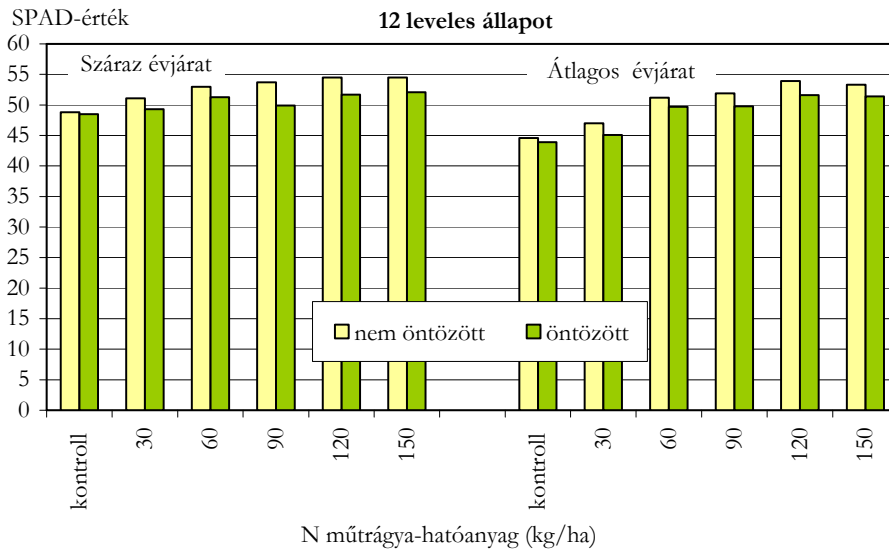
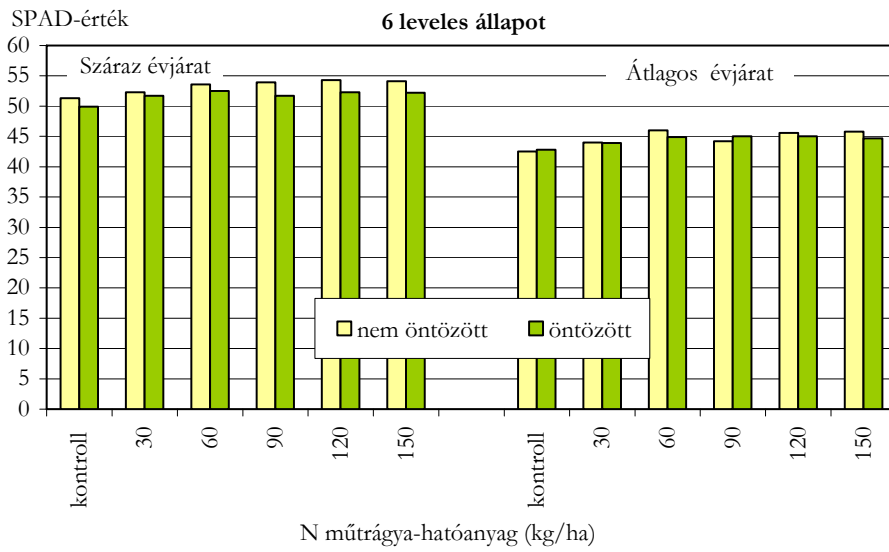
Az öntözés – 6 leveles állapot kivételével – megbízhatóan befolyásolta a kukorica SPAD-értékét. Száraz évjáratban ($P < 0,001$), átlagos csapadékellátottságú évjáratban ($P < 0,05$) szinten. Hatása ugyanakkor kisebb, mint a műtrágyázásé (17–19. táblázat). A nem műtrágyázott kezelésekben az öntözés – 50%-os nővirágzás állapotot kivéve – csökkentette a SPAD-értékeket. A csökkenés mértéke az átlagos csapadékellátottságú években szignifikánsan nagyobb volt. Az öntözés hatása az aszályos 2007-ben – 50%-os nővirágzás állapotban – volt a legjelentősebb (3,6 SPAD-érték). Irodalmi adatok bizonyították, hogy az öntözés hatására nő a levélterület, a nitrogénkoncentráció felhígul. A kísérleti adataink is igazolták, hogy az öntözés csökkenti a klorofillkoncentrációt és ezáltal a nitrogénkoncentrációt is (Nagy 2005, Pakurár 2000, Csajbók és Kutasy 2002). Az öntözés SPAD-értékre gyakorolt hatásának vizsgálatánál és elemzésénél az állapítható meg, hogy az öntözés a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában száraz évjáratban az 50%-os nővirágzás időpontban megbízhatóan ($P < 0,01$) növelte a SPAD-értéket, míg az átlagos csapadékellátottságú években azt mindhárom mérési időpontban csökkentette ($P < 0,05$). Az öntözés hatását mindhárom mérési időpontban t-tesztel vizsgáltuk meg. Külön-külön mindegyik műtrágya-hatóanyag kezelésre. Megállapítottuk, hogy az öntözés minden tápanyagszinten mindkét évjáratban – az 50%-os nővirágzás, száraz évjáratot kivéve – csökkentette a kukorica SPAD-értékét (13. ábra).

Az öntözés x műtrágya szignifikáns kölcsönhatása – mindhárom mérési időpontban és mindkét évjáratban – bizonyította, hogy a műtrágyázás hatása a SPAD-értékre az öntözéstől függően változott. Az évek figyelembevételén alapuló varianciaanalízis (összevont értékelés) eredménye alapján megállapítottuk, hogy a független változók közül (műtrágyázás, év, öntözés) csak a műtrágyázás volt mindhárom mérési időpontban szignifikáns hatással ($P < 0,001$) a függő változóra (SPAD-érték), az elsőrendű kölcsönhatások közül az év x öntözés és az év x NPK mindhárom mérési időpontban szignifikáns volt, míg az öntözés x NPK kölcsönhatás csak az 50%-os nővirágzás időpontjában mutatott megbízható különbséget (17–19. táblázat).

A SPAD-érték változásával kapcsolatban a kutatási eredményeink alapján – számos kutatással egyezően – megállapítottuk, hogy azonos vízellátás mellett a műtrágyaadagok növelésével a növény minden részében, így a levélben is emelkedik a SPAD-érték, a növekvő vízellátás pedig – azonos tápanyagellátás esetén – csökkenti a nitrogénkoncentrációt.

Az N-felvétel nagy része a szemképződést megelőző időszakban történik. Ezt követően a levélzetben és a szárban akkumulálódik, ahonnan a szembe való transzlokációját a szemképződés lehetőségei és körülményei – köztük a vízellátás – határozzák meg. Kedvező vízellátás esetén a szemek kifejlődésének megvannak a lehetőségei. Ehhez több nitrogénre van szükség, így a levél és a szár N-készletéből Izsáki (2006) megállapításával egyezően több vándorol a szemekbe, mint a nem öntözött növényeknél.

13. ábra: Az öntözés és a műtrágyázás hatása a kukorica SPAD-értékére (Debrecen, száraz és átlagos csapadékelátottságú évjárat)



17. táblázat. *A 6 leveles kukorica SPAD-értékének összefonó varianciaanalízis eredménye*
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száráz évjárát			Átlagos évjárát			Összefonó		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	126,1	3	0,3 ^{nsz}	1203,1	3	3,1 ^{nsz}	922,8	3	2,3 ^{nsz}
Hiba	782,5	6,0		679,1	5,3		1868,5	14,2	
Év (A)	901,3	1	6,7*	68547,3	1	483,1 ^{***}	213038,6	3	497,3 ^{***}
Hiba (a)	799,8	5,9		686,6	4,8		1927,4	13,5	
Öntözés (B)	644,9	1	5,3 ^{nsz}	148,5	1	1,0 ^{nsz}	619,5	1	4,4 ^{nsz}
Hiba (b)	753,2	6,2		690,5	4,7		1914,3	13,6	
NPK (C)	4901,6	5	41,8 ^{***}	4369,7	5	21,1 ^{***}	8779,2	5	53,3 ^{***}
Hiba (c)	111927,4	4773		217998,4	5253		330583,3	10031	
Év x Öntözés (A x B)				2948,9	1	19,5 ^{**}	3122,9	2	10,9 ^{**}
Hiba (a x b)				695,6	4,6		1933,2	13,5	
Év x NPK (A x C)	2041,1	5	17,4 ^{***}	4960,4	5	23,9 ^{***}	7106,4	15	14,4 ^{***}
Hiba (a x c)	111927,4	4773		217998,4	5253		330583,3	10031	
Öntözés x NPK (B x C)	271,9	5	2,3*	672,3	5	3,2 ^{**}	286,7	5	1,7 ^{nsz}
Hiba (b x c)	111927,4	4773		217998,4	5253		330583,3	10031	

***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

18. táblázat. *A 12 leveles kukorica SPAD-értékének összefonó varianciaanalízis eredménye*
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényezők	Száráz évjárát			Átlagos évjárát			Összefonó		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	248,9	3	2,4 ^{nsz}	163,1	1	0,7 ^{nsz}	399,3	3	1,5 ^{nsz}
Hiba	206,4	6,1		708,1	3,0		909,7	10,3	
Év (A)	1395,1	1	40,4 ^{***}	17799,7	1	75,6 ^{**}	25663,3	3	88,5 ^{***}
Hiba (a)	196,4	5,7		708,1	3,0		942,1	9,7	
Öntözés (B)	1453,2	1	43,8 ^{***}	4029,6	1	17,1*	5446,6	1	56,6 ^{***}
Hiba (b)	227,5	6,9		708,1	3,0		939,9	9,8	
NPK (C)	16540,6	5	139,7 ^{***}	49950,5	5	516,3 ^{***}	61625,1	5	567,3 ^{***}
Hiba (c)	113006,6	4773		80820,5	4177		194538,9	8955	
Év x Öntözés (A x B)				2837,4	1	12,0*	2881,5	2	14,7 ^{***}
Hiba (a x b)				708,1	3,0		947,2	9,7	
Év x NPK (A x C)	7351,9	5	62,1 ^{***}	19091,1	5	197,3 ^{***}	31119,1	15	95,5 ^{***}
Hiba (a x c)	113006,6	4773		80820,5	4177		194538,9	8955	
Öntözés x NPK (B x C)	540,1	5	4,6 ^{***}	325,5	5	3,4 ^{**}	153,8	5	1,4 ^{nsz}
Hiba (b x c)	113006,6	4773		80820,5	4177		194538,9	8955	

***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

19. táblázat. Az 50%-os nővirágáskori kukorica SPAD-értékének összevont varianciaanalízis eredménye (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Tényező	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	1523,6	3	0,7 ^{nsz}	14,6	1	0,0 ^{nsz}	1499,4	3	0,8 ^{nsz}
Hiba	6856,2	9,0		1144,9	3,0		7851,5	13,1	
Év (A)	19,5	1	0,0 ^{nsz}	832,2	1	2,2 ^{nsz}	5024,8	3	2,6 ^{nsz}
Hiba (a)	6856,2	9,0		1144,9	3,0		8424,9	12,9	
Öntözés (B)	13482,7	1	17,7 ^{**}	6222,9	1	16,3 [*]	514,7	1	0,8 ^{nsz}
Hiba (b)	6856,2	9,0		1144,9	3,0		8424,4	12,9	
NPK (C)	245428,9	5	1021,2 ^{***}	101220,0	5	749,1 ^{***}	308513,2	5	1535,8 ^{***}
Hiba (c)	321508,6	6689		112875,0	4177		436756,2	10871	
Év x Öntözés (A x B)	935,2	1	1,2 ^{nsz}	74,3	1	0,2 ^{nsz}	18319,7	3	9,2 ^{**}
Hiba (a x b)	6856,2	9,0		1144,9	3,0		8540,1	12,9	
Év x NPK (A x C)	27195,9	5	113,2 ^{***}	13913,1	5	103,0 ^{***}	49989,3	15	83,0 ^{***}
Hiba (a x c)	321508,6	6689		112875,0	4177		436756,2	10871	
Öntözés x NPK (B x C)	4650,8	5	19,4 ^{***}	756,4	5	5,6 ^{***}	3034,7	5	15,1 ^{***}
Hiba (b x c)	321508,6	6689		112875,0	4177		436756,2	10871	

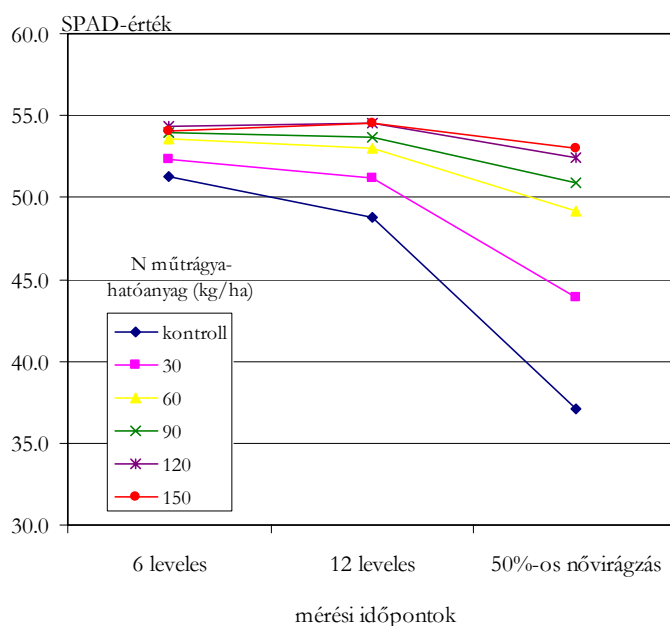
***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

5.3. A SPAD-érték dinamikája a vegetatív fázisban

A SPAD-érték változását évenként és összevontan, száraz (2003, 2007), valamint az átlagos csapadékellátottságú években (2004, 2006) vizsgáltuk, nem öntözött és öntözött változatban.

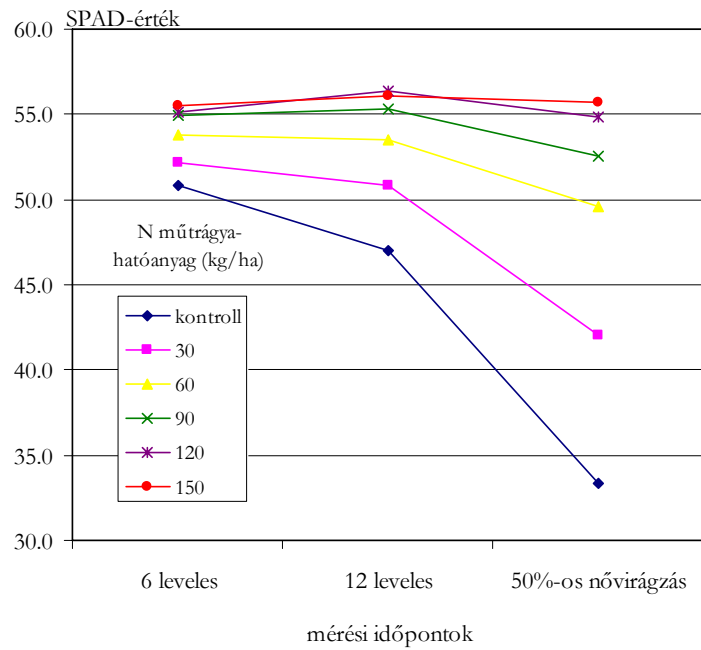
A SPAD-érték – a műtrágyakezelések átlagában – *nem öntözött változatban* a száraz évjáratban 6 leveles állapotban volt a legnagyobb, ami a fejlődés során jelentősen csökkent (14. ábra).

14. ábra: A kukorica SPAD-értékének változása a tenyészidőszak alatt, száraz évjáratok átlagában (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2007)

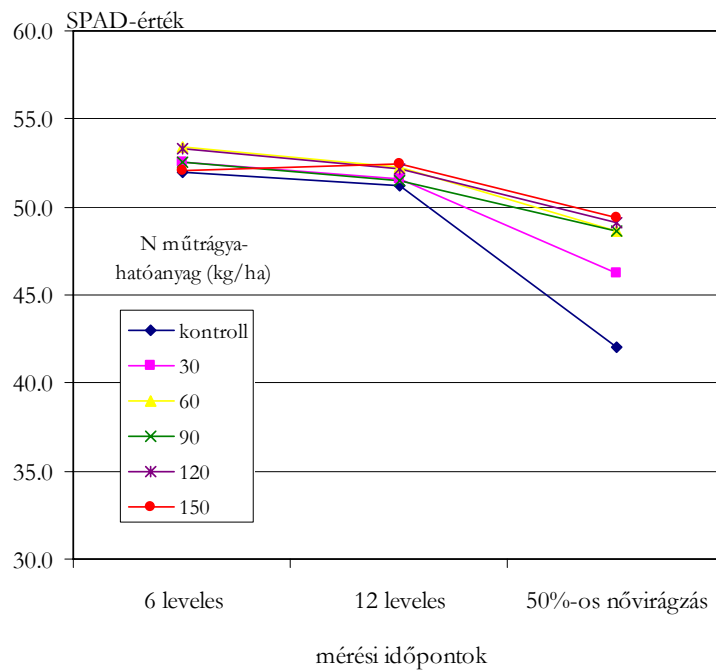


A legnagyobb SPAD-érték csökkenést mindkét száraz évben a kontroll parcellán mértük (15–16. ábra).

15. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztidőszak alatt (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003)*

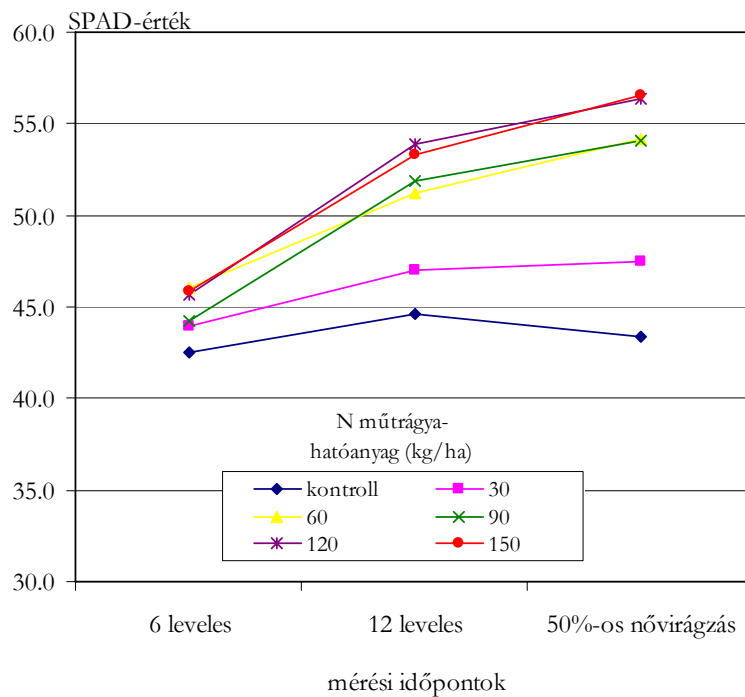


16. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztidőszak alatt (nem öntözött változat) (Debrecen, 2007)*

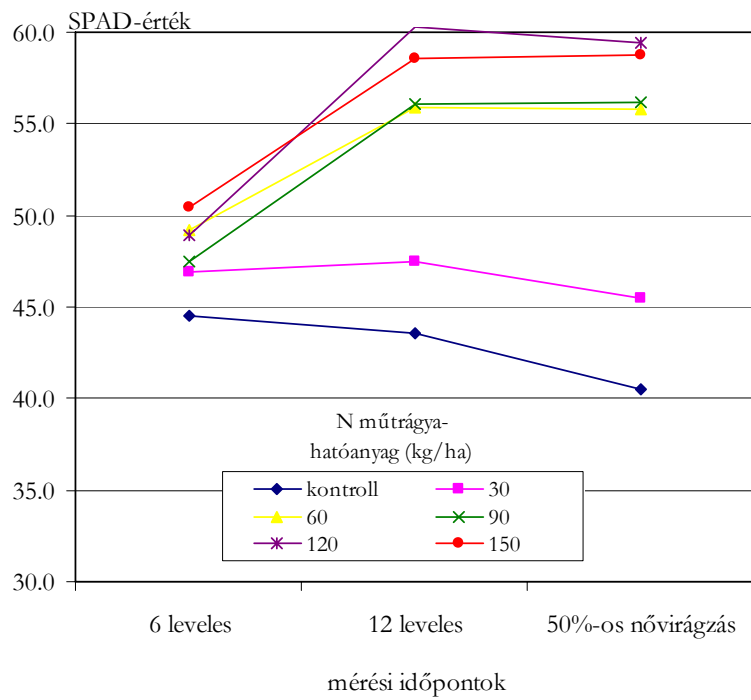


Átlagos csapadékellátottságú évjáratban (2004, 2006) a legfiatalabb, 6 leveles állapotban – a műtrágyakezelések átlagában – mértük a legalacsonyabb SPAD-értéket. A tenyészidőszak előrehaladtával a SPAD-érték növekedett. A N-koncentráció a levélben az 50%-os nővirágzás időpontjára dúsult fel (17. ábra). Legnagyobb SPAD-érték növekedést a virágzás időpontjáig a 120 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelés mutatott. A két évet külön-külön megvizsgálva megállapítottuk, hogy a SPAD-érték a tenyészidőszak alatt 2004-ben – a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában – viszonylag kisebb mértékben növekedett, mint 2006-ban. A 18–19. ábrák grafikonjai 2006-ra kisebb műtrágyahatást jeleznek mint 2004-re.

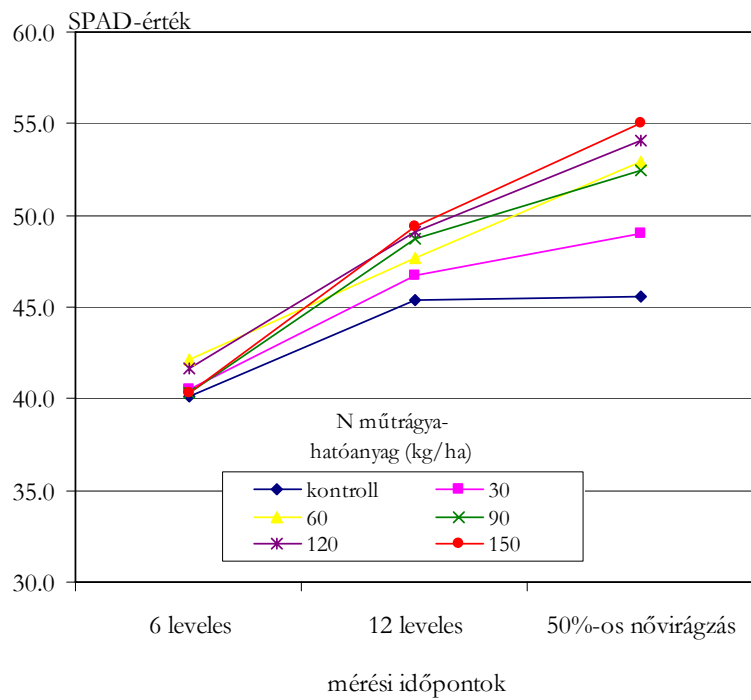
17. ábra: A kukorica SPAD-értékének változása a tenyészidőszak alatt, átlagos csapadékellátottságú évjáratok átlagában (nem öntözött változat) (Debrecen, 2004, 2006)



18. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztődőszak alatt*
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2004)



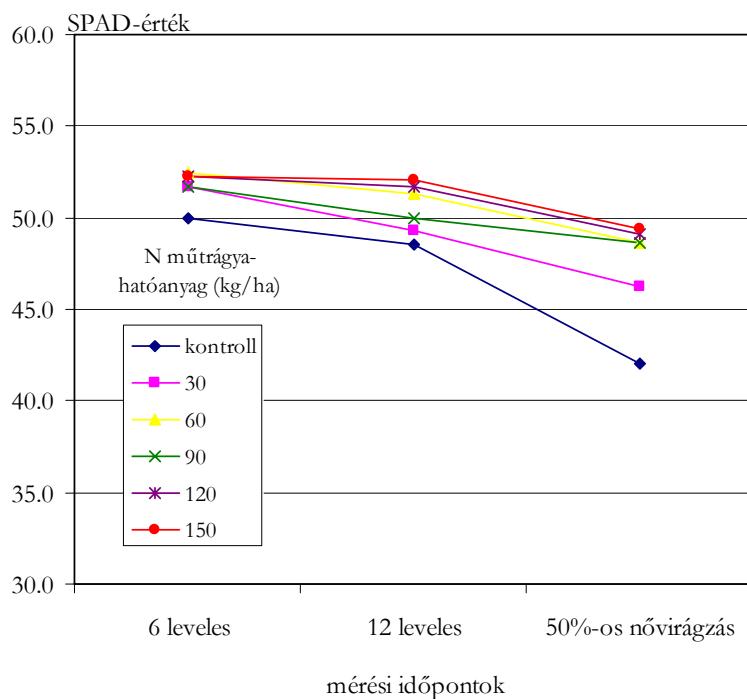
19. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztődőszak alatt*
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2006)



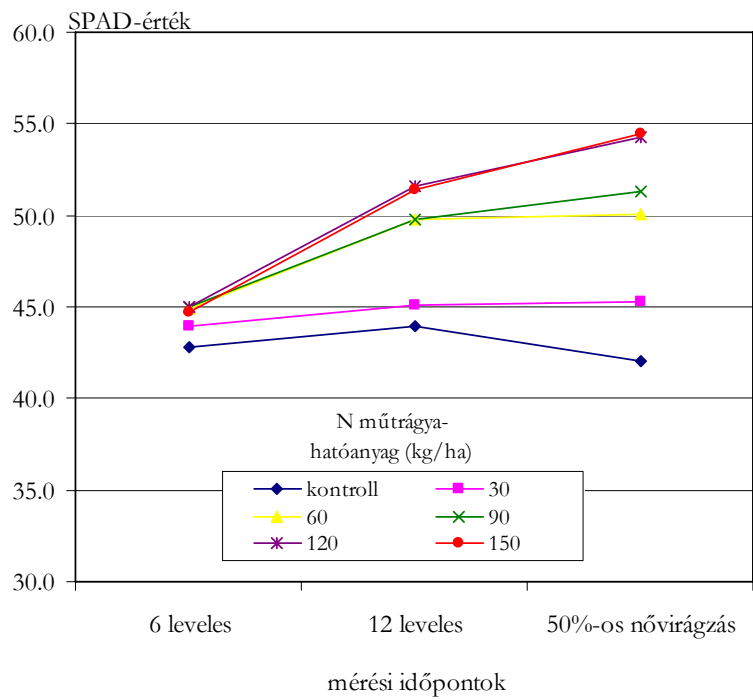
A SPAD-érték változását *öntözött változatban*, három évben (2004, 2006 és 2007) vizsgáltuk. A száraz 2007 évben – a nem öntözött változathoz hasonlóan – a 6 leveles állapothoz viszonyítva a SPAD-érték 12 leveles állapotig minden műtrágya-hatóanyag kezelésben csökkent. A legnagyobb csökkenést 30 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben mértük. További SPAD-érték csökkenés az 50%-os nővirágzaskor a nem műtrágyázott és a 30 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben volt (20. ábra). Az átlagos csapadékellátottságú években az 50%-os nővirágzási időpontjához közeledve növekedett a SPAD-érték (21. ábra). A növekedés mértéke mindkét mérési időpontban kisebb volt, mint a nem öntözött változatban. A 2004-ben a nem műtrágyázott és az alacsony (30 kg/ha) műtrágya-hatóanyag kezelésben a tenészedőszak előrehaladtával a SPAD-érték csökkent, míg 2006-ban minden tápanyagszinten növekedést mértünk (22–23. ábra). Mindkét évjáratban 50%-os nővirágzásig a legnagyobb SPAD-érték növekedést 150 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben értük el.

Az öntözés a száraz 2007 évben 6 leveles állapotban jelentős mértékben csökkentette a SPAD-értéket, míg a virágzás időpontjában növekedést mértünk (24. ábra). Az átlagos csapadékellátottságú évjáratban mindkét mérési időpontban a SPAD-értéket csökkentette az öntözés, a legnagyobb csökkenés 12 leveles állapotban volt (25. ábra).

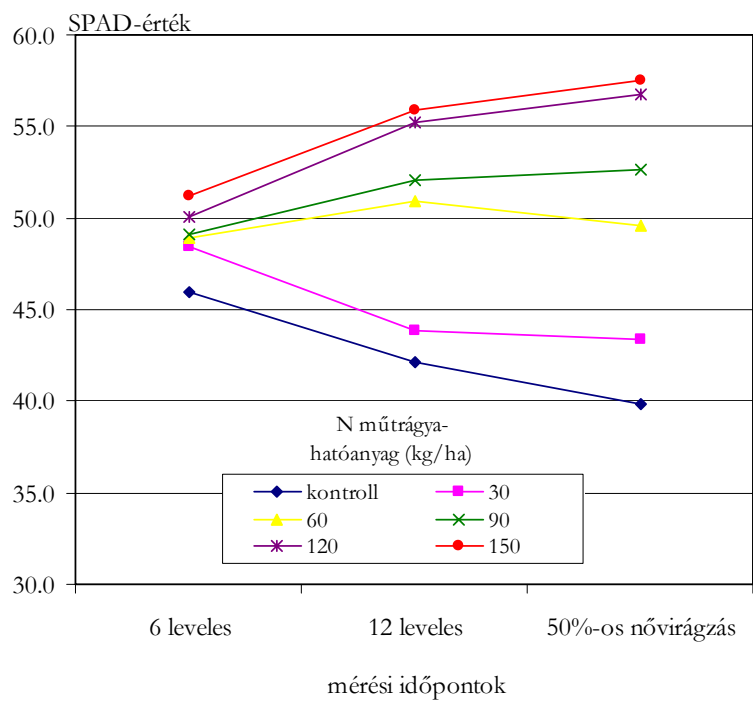
20. ábra: A kukorica SPAD-értékének változása a tenészedőszak alatt (öntözött változat) (Debrecen, 2007)



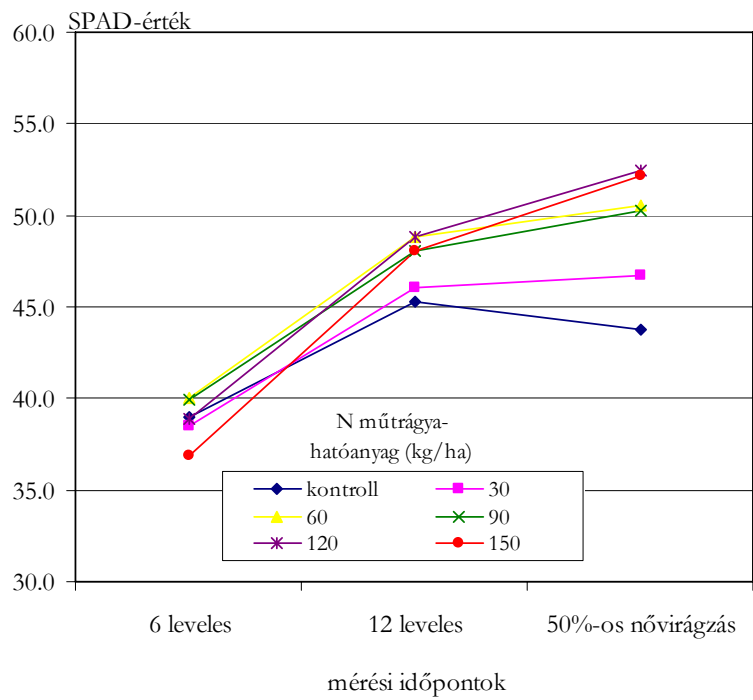
21. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztés alatt, átlagos csapadékelátottsági éjáratok átlagában (öntözött változat) (Debrecen, 2004, 2006)*



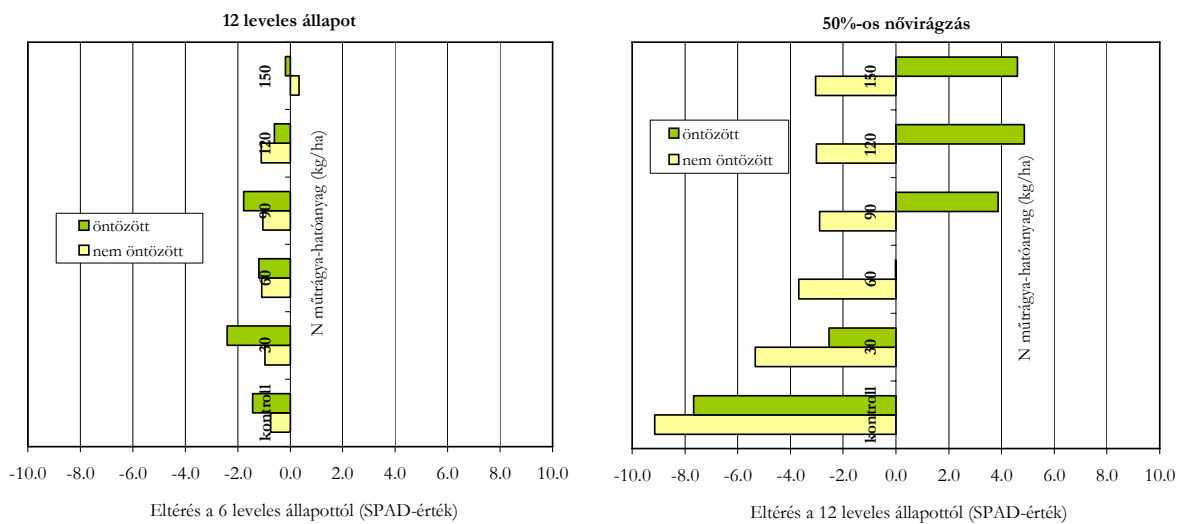
22. ábra: *A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztés alatt (öntözött változat) (Debrecen, 2004)*



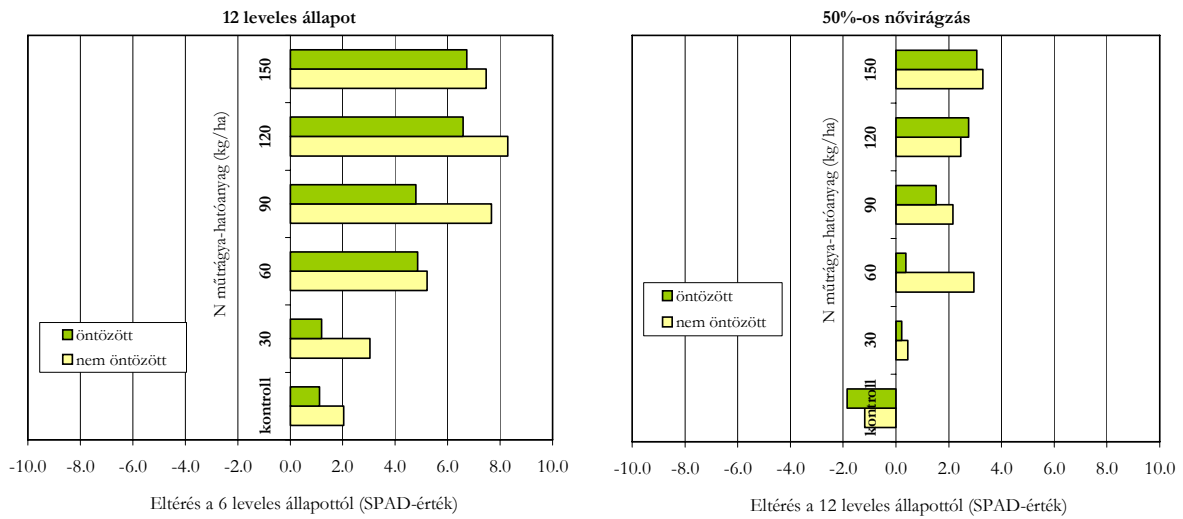
23. ábra: A kukorica SPAD-értékének változása a tenyésztési időszak alatt (öntözött változat) (Debrecen, 2006)



24. ábra: Az öntözés hatása a kukorica SPAD-értékének változására a tenyésztési időszak alatt (száraz évszám) (Debrecen, 2007)



25. ábra: Az öntözés hatása a kukorica SPAD-értékének változására a tenyészidőszak alatt (átlagos csapadékellátottságú évjárat) Debrecen, 2004, 2006)



Összegzésképp megállapítottuk, hogy a tenyészidőszak előrehaladtával a SPAD-érték – nem öntözött és öntözött változatban egyaránt – a száraz évjáratban csökken, míg átlagos csapadékellátottságú évjáratban nő. A tápelemfelvétel 12 leveles állapotig átlagos csapadékellátottságú években igen intenzív. Száraz évjáratban a SPAD-érték csökkenése az 50%-os nővirágzáskor a legnagyobb mértékű.

Öntözés hatására – a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában – mind száraz, mind átlagos csapadékellátottságú évjáratban 6 leveles állapotban nagyobb mértékben csökken a klorofillkoncentráció, mint 50%-os nővirágzáskor. Az 50%-os nővirágzás időpontjára a száraz évben a klorofillkoncentráció hasonlóan alakul, mint 12 leveles állapotban, átlagos csapadékellátottságú évjáratban növekedést mértünk.

Megállapítottuk, hogy a nitrogén műtrágyázás okszerű technológiáját a kukorica nitrogén igénye mellett a növény tápanyag-felvételi görbéje, dinamikája nagyban befolyásolja. A kukorica nitrogén felvételét a vegetáció során az öntözés és az évjárat nagyban módosítja.

5.4. A kukorica terméseredményének értékelése

Öntözés nélküli változatban a műtrágyázás hatása a kukorica terméseredményére 2004-ben (3,979 t/ha) volt legnagyobb, míg a legkisebb hatást 2007-ben mértük (1,454 t/ha). A nem műtrágyázott kezelésben a legkisebb terméseredményt 2007-ben (3,476 t/ha), a legnagyobbat 2004-ben kaptuk (5,844 t/ha). A száraz (2003, 2007) és az átlagos csapadékelátottságú évek (2004, 2006) összevont értékelésében a műtrágyahatás ($P < 0,001$) közel azonosnak tekinthető (3,089 t/ha és 3,167 t/ha), amit a varianciaanalízis SS értéke is bizonyít (20. táblázat).

20. táblázat. A kukorica termésének (t/ha) varianciaanalízis (összevont) eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004 és 2006, 2007)

Tényezők	Száraz évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	12,5	3	1,2 ^{nsz}	9,6	3	0,6 ^{nsz}	21,2	3	2,2 ^{nsz}
Hiba	10,4	3		17,5	3		28,7	9	
Év (A)	310,3	1	89,9 ^{**}	177,8	1	30,5 [*]	735,3	3	76,8 ^{***}
Hiba (a)	10,4	3		17,5	3		28,7	9	
NPK (B)	219,3	5	46,9 ^{***}	308,4	5	56,3 ^{***}	516,2	5	101,6 ^{***}
Hiba (b)	140,4	150		164,4	150		304,7	300	
Év x NPK (A x B)	58,6	5	12,5 ^{***}	21,8	5	4,0 ^{**}	86,4	15	5,7 ^{***}
Hiba (a x b)	140,4	150		164,4	150		304,7	300	

***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

A Duncan-teszt eredménye alapján, megállapítható, hogy nem öntözött változatban – száraz, és átlagos csapadékelátottságú években egyaránt – három tápanyagkezelés között (nem műtrágyázott, 30 és 60 kg N/ha) volt megbízható különbség (21. táblázat). A vizsgált négy év átlagában és évenként is 60 kg N/ha műtrágya-hatóanyag volt szükséges a szignifikánsan legtöbb termés eléréséhez, ugyanis a további műtrágya-hatóanyag növelése statisztikailag nem igazolt nagyobb terméseredményt. A műtrágyahatás és a termés közötti kapcsolat logaritmikus görbével írható le, amelyet regresszió analízissel, logaritmikus függvény illesztésével Huzsvai (2001) módszerével vizsgáltunk.

21. táblázat. *A kukorica termés eredménye (t/ha)*
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	Termés, t/ha				Száras	Átlagos Évjáratok	Összevont
	2003	2004	2006	2007			
nem műtrágyázott	4,137a	5,844a	4,808a	3,476a	3,854a	5,252a	4,553a
N ₃₀	6,722b	8,157b	6,911b	3,986a	5,550b	7,445b	6,497b
N ₆₀	7,918c	9,780c	7,397b,c	5,643c,d	6,943c	8,419c	7,681c
N ₉₀	8,350c,d	10,060c	7,837c	5,835d	7,272c	8,790c	8,031c
N ₁₂₀	8,927d	10,457c	8,030c	4,862b,c	7,185c	9,070c	8,128c
N ₁₅₀	8,546c,d	10,663c	7,504b,c	4,322a,b	6,736c	8,858c	7,797c

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

A független változó a műtrágyázás logaritmusos tagja, a függő változó a termés volt. Megvizsgáltuk az egyenlet és paramétereinek szignifikanciáját is. A nem öntözött kezelésben a műtrágyázás termésre gyakorolt hatása leíró logaritmusos függvény és az összevont statisztikai elemzés szerint alkalmas a kapcsolat leírására, ám a változók között közepes ($r=0,547$) a kapcsolat, és a regresszió maradék Mean Square (MS) értékét elemezve az is megállapítható, hogy a becslés hibája is közepes (1,894 t/ha, 22. táblázat). Az egyenlet paramétereit a t-próba alapján 0,1%-nál kisebb szinten szignifikánsak. A vizsgált években a többszörös R-érték szerint – 2007 év kivételével – szoros összefüggést mutattunk ki a műtrágyázás és a termés között. Az illesztés hibája minden évben 1 t/ha körül volt (26–29. ábra).

22. táblázat. *A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmusos (összevont) regresszió eredménye*
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

	SS	DF	MS	F
Regresszió	510,679	1	510,679	142,311***
Maradék	1198,552	334	3,588	
Összesen	1709,232	335		

R²: 0,299

r: 0,547

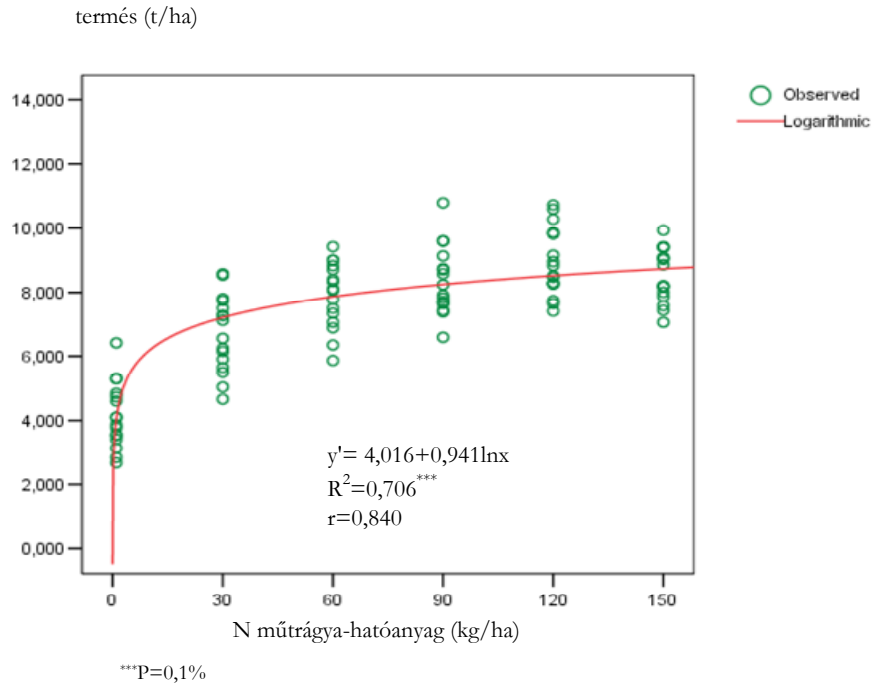
Illesztés hibája (t/ha): 1,894

b₀: 4,488

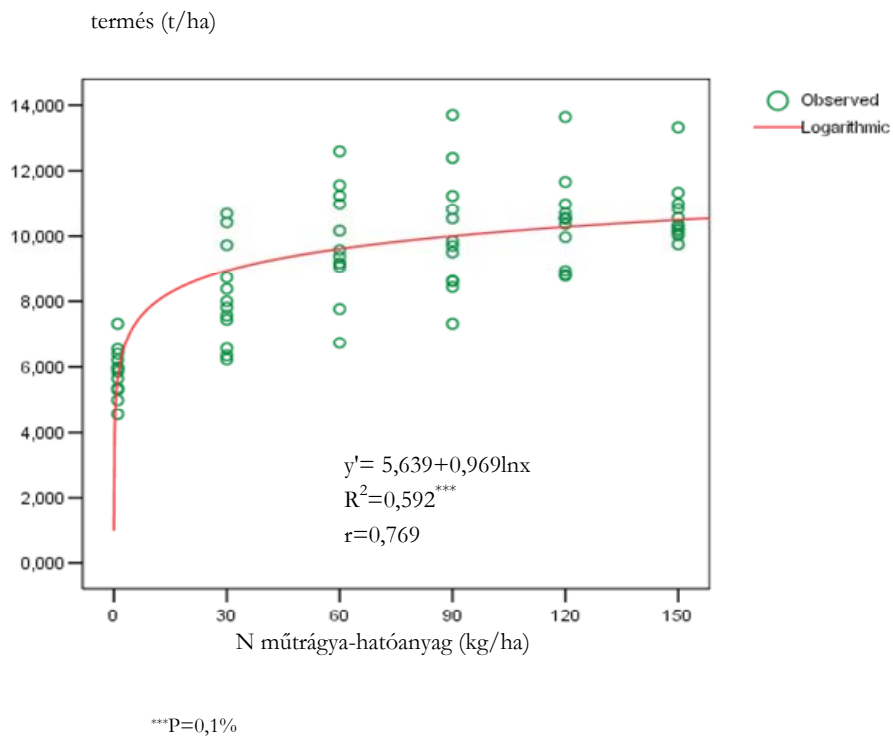
b₁: 0,723

***P=0,1%

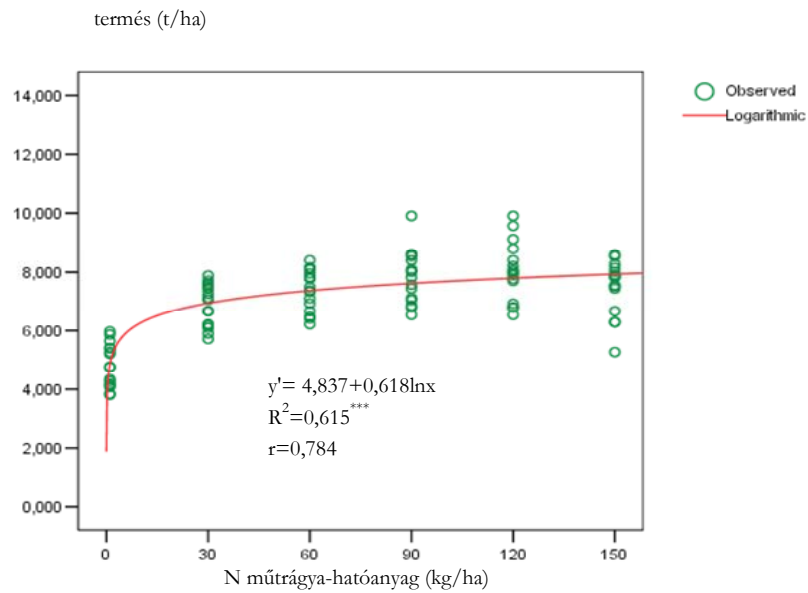
26. ábra: A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003)



27. ábra: A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2004)

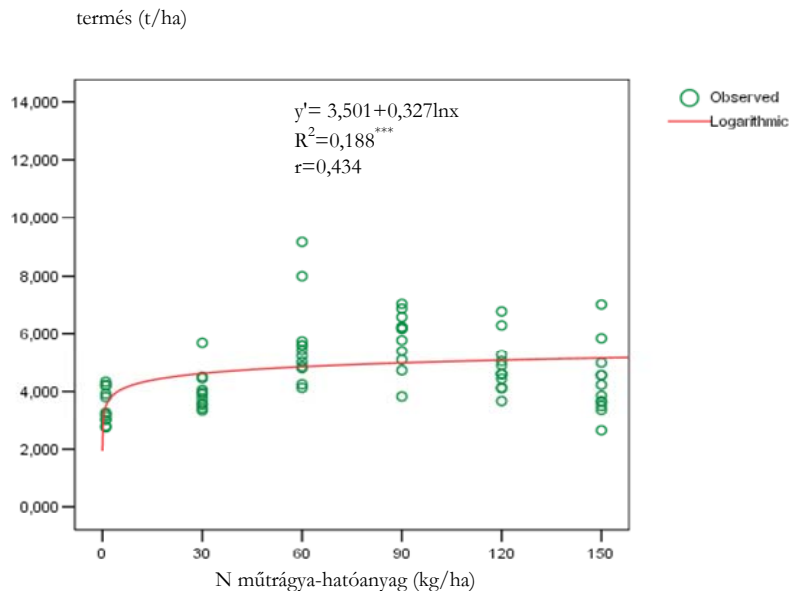


28. ábra: A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2006)



***P=0,1%

29. ábra: A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2007)



***P=0,1%

Kutatási eredményeink megbízhatóan bizonyították, hogy *öntözött változatban* a műtrágyázás hatása négy év átlagában nagyobb (5,021 t/ha, $P < 0,001$) volt, mint a nem öntözött változatban (3,128 t/ha, 23. táblázat). A kezelések átlagában a műtrágyázás és az öntözés kölcsönhatásának

legnagyobb hatása a száraz 2007 évben volt (4,705 t/ha). A száraz évjáratban jelentősen nagyobb (4,459 t/ha) volt a műtrágyázás x öntözés hatás, mint az átlagos csapadékellátottságú (3,299 t/ha) évjáratban. A műtrágyázás és a termés közötti összefüggést tekintve a száraz évjáratban öt (nem műtrágyázott, 30, 60, 90 és 120 kg N/ha), átlagos csapadékellátottságú évek átlagában négy tápanyagszint (nem műtrágyázott, 30, 60 és 90 kg N/ha) közötti különbség is szignifikáns volt (24. táblázat). Az öntözött változatban a kukorica évenkénti műtrágyareakciója kisebb mértékben különbözött, mint a nem öntözött változatban. Csökkent a terméningadozás. A korrelációs együttható értéke (0,764) alapján szoros összefüggés van a műtrágyázás és a szemtermés között. A becslés hibája öntözött változatban kisebb, mint a nem öntözött változatban. A regresszió maradék MS értéke alapján 1,42 t/ha-os átlagos eltéréssel lehet megbecsülni a várható termést (25. táblázat). Az egyenlet paraméterei a t-próba alapján 0,1 %-nál kisebb szinten szignifikánsak, tehát biztonsággal használható a műtrágyázás termés összefüggésének leírására a logaritmikus függvény.

23. táblázat. *A kukorica termésének (t/ha) varianciaanalízis (összevont) eredménye (öntözött változat)*
(Debrecen, 2003, 2004 és 2006, 2007)

Tényezők	Száraz évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	7,1	3	0,8 ^{nsz}	4,5	3	0,7 ^{nsz}	6,6	3	0,9 ^{nsz}
Hiba	8,7	3		6,4	3		21,6	9,1	
Év (A)	0,1	1	0,0 ^{nsz}	28,2	1	13,3*	74,0	3	10,4**
Hiba (a)	8,7	3		6,4	3		21,4	9	
NPK (B)	728,1	5	115,3***	358,3	5	51,2***	1049,9	5	157,7***
Hiba (b)	189,5	150		210,0	150		399,5	300	
Év x NPK (A x B)	6,2	5	1,0 ^{nsz}	39,1	5	5,6***	87,2	15	4,4***
Hiba (a x b)	189,5	150		210,0	150		399,5	300	

***P=0,1%, nsz= nem szignifikáns

24. táblázat. *A kukorica terméseredménye (t/ha) (öntözött változat)*
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

Műtrágyázási változat	Termés t/ha						
	2003	2004	2006	2007	Száraz	Átlagos	Összevont
	Évek				Évjáratok		
nem műtrágyázott	5,087a	4,988a	5,250a	4,672a	4,909a	5,138a	5,024a
N ₃₀	7,379b	7,022b	7,165b	6,655b	7,069b	7,104b	7,086b
N ₆₀	8,657c	8,275b,c	7,960c	8,845c	8,737c	8,095c	8,416c
N ₉₀	9,502d	9,330c,d	8,236c	9,686c	9,581d	8,705c,d	9,143d
N ₁₂₀	10,455e	9,845d,e	8,401c	10,846d	10,623e	9,020d	10,045e
N ₁₅₀	10,812e	10,699e	8,181c	10,853d	10,830e	9,260d	9,821e

Az egy oszlopon belül azonos betűvel jelzett adatok a Duncan-teszt alapján egymástól szignifikánsan nem különböznek

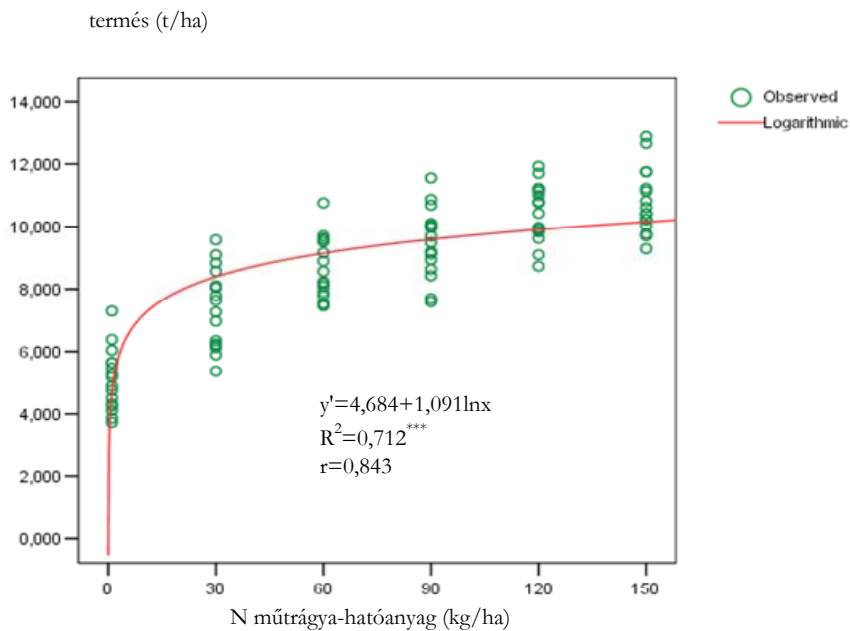
25. táblázat. *A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus (összevont) regresszió eredménye (öntözött változat)*
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

	SS	DF	MS	F
Regresszió	941,7	1	941,7	468,110***
Maradék	671,9	334	2,0	
Összesen	1613,6	335		

R²: 0,584
r: 0,764
Illesztés hibája (t/ha): 1,418
b₀: 4,690
b₁: 0,982
***P=0,1%

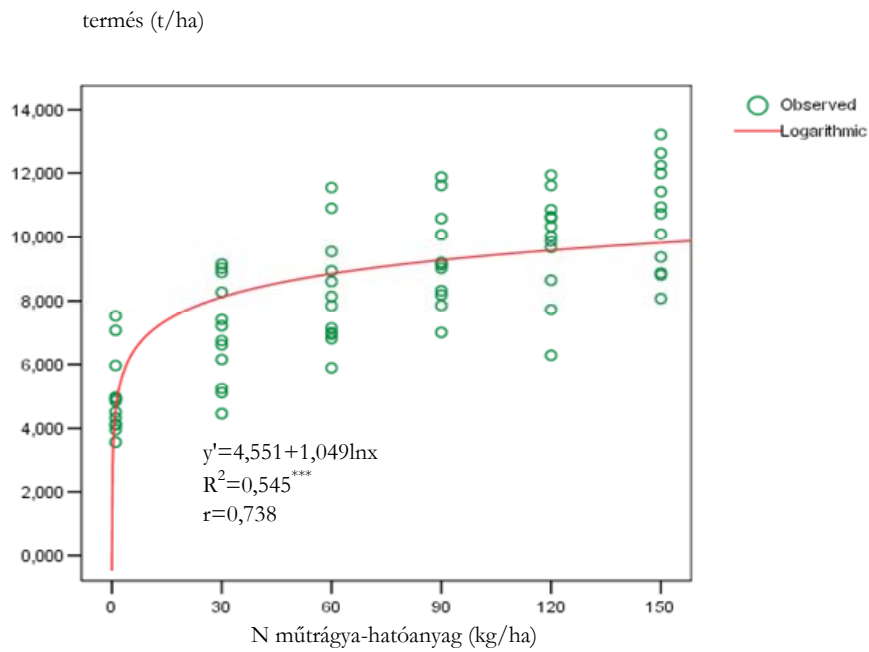
Az évenként elvégzett regresszió-analízis eredménye alapján megállapítottuk, hogy a változók között szorosabb sztochasztikus összefüggés volt öntözött termesztésben, mint nem öntözött változatban. Az illesztés hibája a nem öntözött változathoz hasonlóan 1 t/ha körül volt (30–33. ábra).

30. ábra: *A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (öntözött változat)*
(Debrecen, 2003)



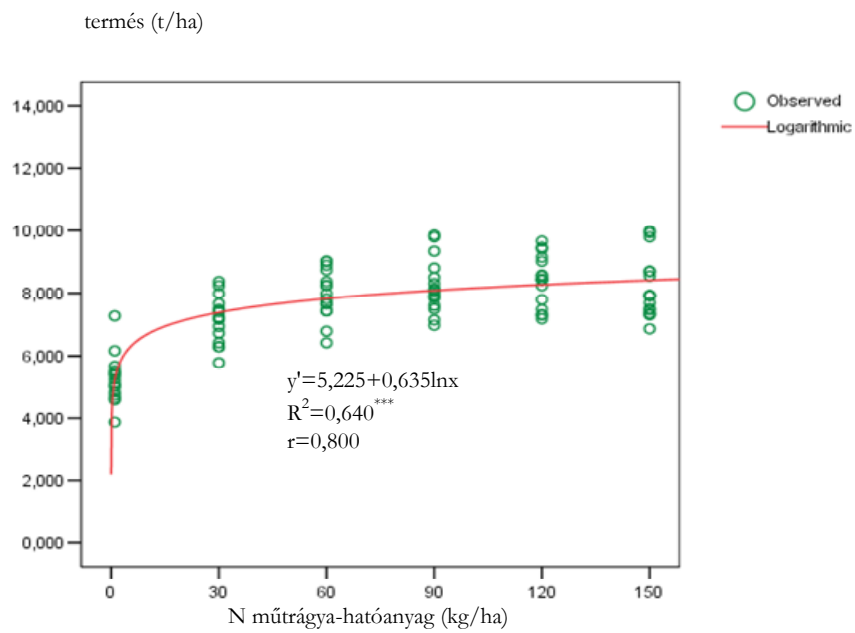
***P=0,1%

31. ábra: *A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmus regresszió eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2004)*



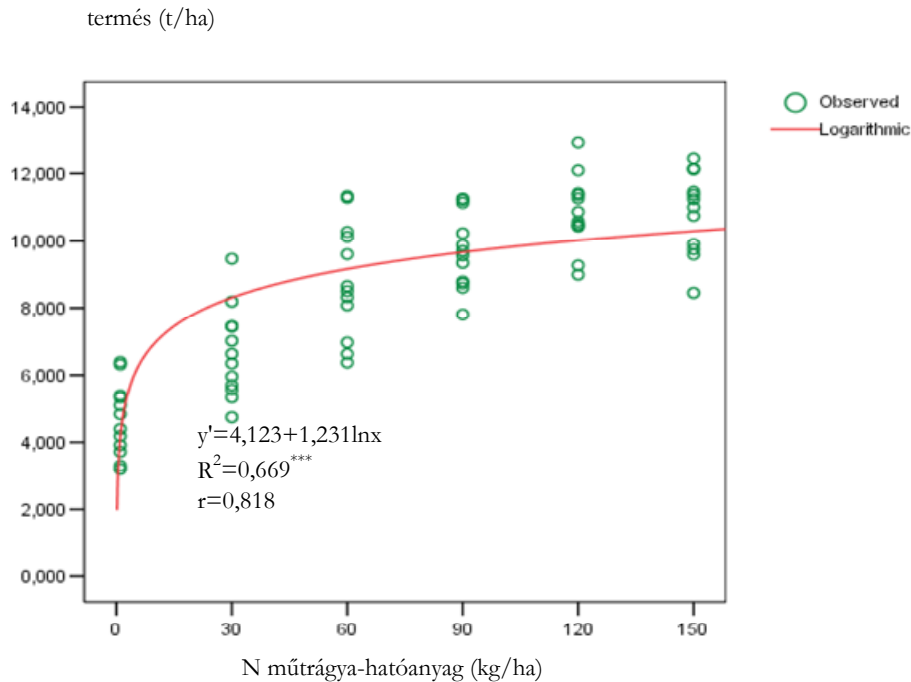
***P=0,1%

32. ábra: *A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmus regresszió eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2006)*



***P=0,1%

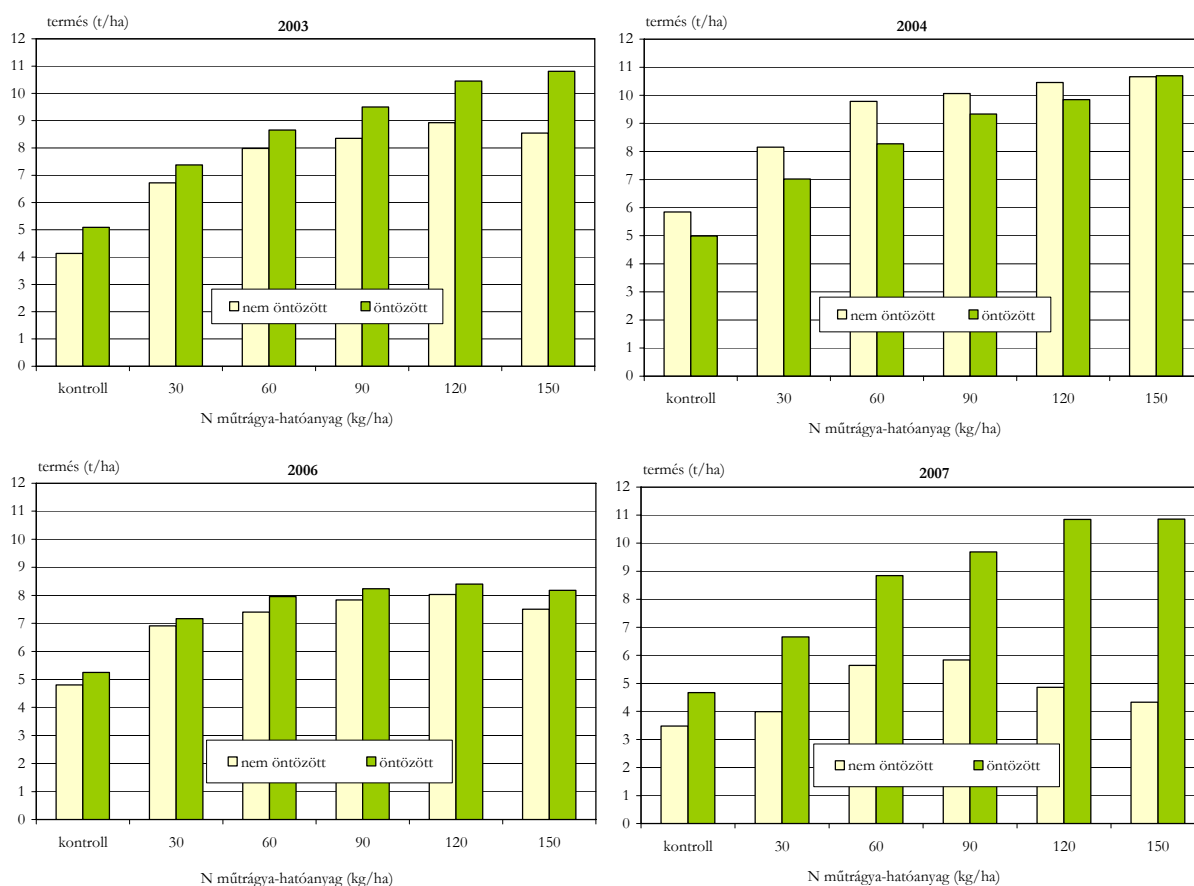
33. ábra: A műtrágyázás és termés (t/ha) közötti összefüggés, a logaritmikus regresszió eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2007)



***P=0,1%

Az öntözés a négy év és a műtrágya kezelések átlagában megbízhatóan ($P < 0,001$) 1,141 t/ha-ral növelte a termést. Az öntözés a száraz években szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte, míg az átlagos csapadékellátottságú évjáratban az öntözés termésmenvelő hatása nem volt szignifikáns. Öntözés hatására a legnagyobb termésmenvekedést a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában 2007-ben (3,906 t/ha) értük el (34. ábra). A t-teszt segítségével – a száraz és átlagos csapadékellátottságú éveket összevontan – megvizsgáltuk az öntözés és a különböző tápanyagszintek közötti kapcsolatot, ami bizonyította, hogy a száraz évjáratokban az öntözés mind a hat tápanyagszinten szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte a kukorica termését, míg az átlagos csapadkellátottságú években megbízható öntözéshatást nem kaptunk (26. táblázat).

34. ábra: A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukorica termésére, (t/ha)
(Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)



26. táblázat. Az öntözés hatása a kukorica termésére (t/ha), t-teszt eredménye
(Debrecen, 2003, 2004 és 2006, 2007)

Műtrágyázási változat	Száras év			Átlagos év			Összevont		
	Sig	A különbség 95%-os konfidencia intervalluma		Sig	A különbség 95%-os konfidencia intervalluma		Sig	A különbség 95%-os konfidencia intervalluma	
		alsó szint	felső szint		alsó szint	felső szint		alsó szint	felső szint
nem műtrágyázott	0,000	0,539	1,571	0,651	-0,617	0,388	0,022	0,070	0,871
N ₃₀	0,000	0,703	2,334	0,297	-0,991	0,308	0,043	0,018	1,159
N ₆₀	0,000	0,988	2,599	0,416	-1,114	0,467	0,016	0,141	1,328
N ₉₀	0,000	1,574	3,0439	0,835	-0,896	0,727	0,000	0,526	1,697
N ₁₂₀	0,000	2,490	4,3850	0,903	-0,874	0,774	0,000	0,997	2,389
N ₁₅₀	0,000	3,104	5,0830	0,414	-0,576	1,381	0,000	1,483	3,012

Végül a nem öntözött és az öntözött változatban azonos műtrágya-hatóanyag alkalmazásával, négy év figyelembevételével, varianciaanalízissel (összevont értékelés) megvizsgáltuk a műtrágyázás, az öntözés és az évjárat hatását a kukorica termésére. Az SS értékek alapján megállapítottuk, hogy legjelentősebb hatása a műtrágyázásnak (1486,4), majd az évjáratnak (375,4), és ezt követően az öntözésnek (234,2) volt. A kölcsönhatások mindegyike szignifikáns ($P < 0,001$) különbséget mutatott. Közülük legjelentősebb az év x öntözés ($SS=433,9$) kölcsönhatás (27. táblázat). Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a termés ingadozásában nagyon jelentős a műtrágyázás és az öntözés hatása, melyet azonban az évjárat jelentősen módosíthat.

27. táblázat. A kukorica termésének (t/ha) varianciaanalízis (összevont) eredménye (Debrecen, 2003, 2004 és 2006, 2007)

Tényezők	Száras évjárat			Átlagos évjárat			Összevont		
	SS	DF	F	SS	DF	F	SS	DF	F-érték
Ismétlés	10,3	3	1,1 ^{nsz}	3,7	3	0,3 ^{nsz}	9,1	3	1,0 ^{nsz}
Hiba	29,0	9,1		32,6	9,1		67,4	21,3	
Év (A)	161,5	1	50,6 ^{***}	173,8	1	48,5 ^{***}	375,4	3	39,2 ^{***}
Hiba (a)	29,0	9,1		32,6	9,1		67,2	21,1	
Öntözés (B)	539,4	1	168,9 ^{***}	2,5	1	0,7 ^{nsz}	234,2	1	74,0 ^{***}
Hiba (b)	29,0	9,1		32,6	9,1		67,4	21,3	
NPK (C)	835,3	5	137,2 ^{***}	660,7	5	106,5 ^{***}	1486,4	5	233,6 ^{***}
Hiba (c)	371,3	305		378,3	305		782,6	615	
Év x Öntözés (A x B)	148,9	1	46,6 ^{***}	32,2	1	9,0*	433,9	3	45,3 ^{***}
Hiba (a x b)	29,0	9,1		32,6	9,1		67,2	21,1	
Év x NPK (A x C)	23,4	5	3,8**	57,0	5	9,2 ^{***}	95,2	15	5,0 ^{***}
Hiba (a x c)	371,3	305		378,3	305		782,6	615	
Öntözés x NPK (B x C)	96,6	5	15,9 ^{***}	5,1	5	0,8 ^{nsz}	68,6	5	10,8 ^{***}
Hiba (b x c)	371,3	305		378,3	305		782,6	615	

***P=0,1%, **P=1%, *P=5%, nsz= nem szignifikáns

A száraz évjáratban (2003, 2007) a két év szignifikánsan ($P < 0,001$) különbözött egymástól. Az öntözés és a műtrágyázás 0,1%-os szignifikancia szint mellett megbízhatóan befolyásolta a SPAD-értéket. Jelentős az év x öntözés, valamint az öntözés x NPK ($P < 0,001$) kölcsönhatás. A műtrágyázás hatása a termésre évenként eltérő volt ($P < 0,01$).

Átlagos évjáratban (2004, 2006) a főhatások (év, öntözés, NPK) közül az öntözésnek nem volt hatása. Az év x öntözés kölcsönhatás 5%-os szignifikancia szinten szignifikáns, mivel az öntözés évenként nem egyformán módosította a termést. A műtrágyázás hatékonyságát az évjárat nagymértékben ($P < 0,001$) módosította. Az öntözés x NPK kölcsönhatás átlagos évjáratokban statisztikailag nem volt igazolható.

5.5. SPAD-érték és a kukorica termésmennyisége közötti összefüggés elemzése

Négy év átlagában elemeztük a SPAD-érték és a kukoricatermés összefüggését. Az adatok elemzéséhez és értékeléséhez korreláció- és lineáris regresszió analízist alkalmaztunk (28–29. táblázat).

Az elemzés során azt állapítottuk meg, hogy a 6 leveles állapotban mért SPAD-érték és a termés között a nem öntözött változatban nincs, míg öntözött változatban ($r=0,260$) gyenge sztochasztikus kapcsolat van. A vegetációs idő előrehaladtával mind a nem öntözött, mind az öntözött változatban a két változó között szorosabbá vált az összefüggés. A korrelációs együttható értéke mindkét változatban pozitív, vagyis a SPAD-érték növekedésével a termés mennyisége nőtt. A statisztikai értékelés alapján a két változó közötti összefüggés lineáris függvénnyel írható le, amit az F-próba is 0,1%-os szignifikancia szint mellett igazolt. A determinációs együttható értékét figyelembe véve – négy év átlagában – megállapítottuk, hogy a termésmennyiség és az 50%-os nővirágzás állapotban mért SPAD-értékek között nem öntözött változatban közepes ($r=0,490$) és öntözött változatban közepesnél erősebb ($r=0,623$) kapcsolat volt.

28. táblázat. A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	2,7	1	2,7	0,495 ^{nsz}
	Maradék	33128,3	5998	5,5	
	Összesen	33131,0	5999		
	r: 0,009				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,350 b ₀ : 7,233 b ₁ : -0,003				
12 leveles állapot	Regresszió	3977,4	1	3977,4	823,2 ^{***}
	Maradék	26213,1	5458	4,803	
	Összesen	30190,5	5459		
	r: 0,363				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,192 b ₀ : -0,277 b ₁ : 0,140				
50%-os nővirágzás	Regresszió	7243,9	1	7243,9	1723,0 ^{***}
	Maradék	22946,6	5458	4,202	
	Összesen	30190,5	5459		
	r: 0,490				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,050 b ₀ : 0,746 b ₁ : 0,126				

***P=0,1%, nsz: = nem szignifikáns

29. táblázat. A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye (öntözött változat) (Debrecen, 2003, 2004, 2006 és 2007)

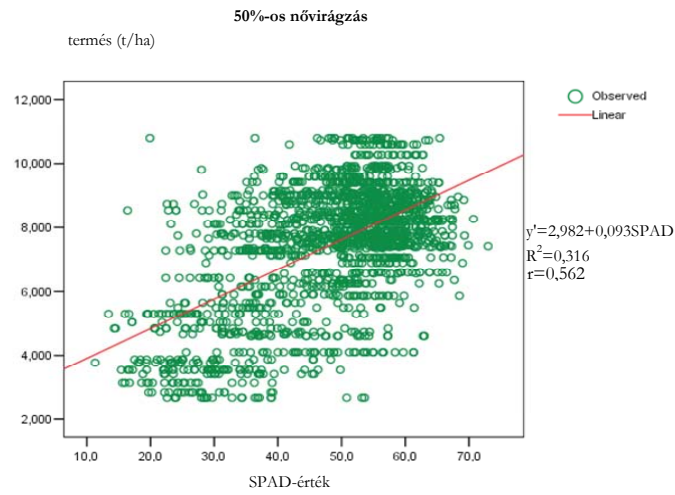
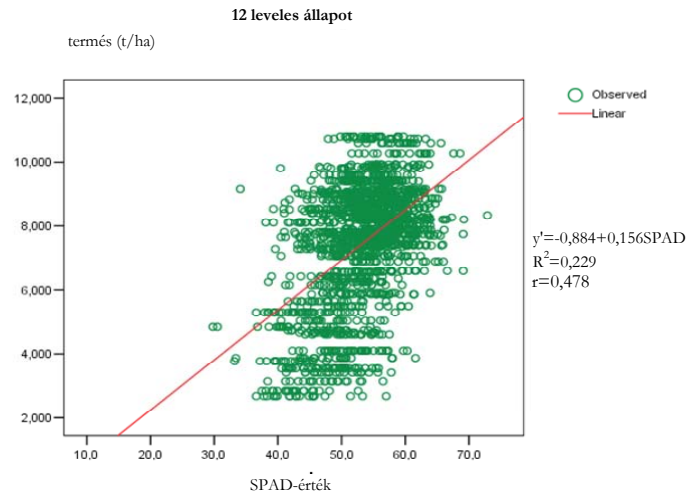
		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	1443,1	1	1443,1	295,2***
	Maradék	19936,1	4078	4,9	
	Összesen	21379	4079		
	r: 0,260				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,211 b ₀ : 4,621 b ₁ : 0,074				
12 leveles állapot	Regresszió	3237,1	1	3237,1	713,9***
	Maradék	16041	3538	4,534	
	Összesen	19278,8	3539		
	r: 0,410				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,129 b ₀ : -0,427 b ₁ : 0,172				
50%-os nővirágzás	Regresszió	11258,9	1	11258,9	3456,9***
	Maradék	17776,1	5458	3,257	
	Összesen	29034,9			
	r: 0,623				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,805 b ₀ : 0,133 b ₁ : 0,162				

***P=0,1%

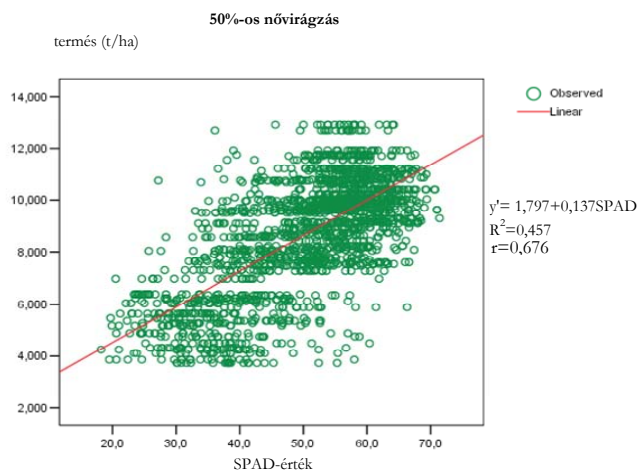
Az elemzést évenként is elvégeztük. A száraz, kedvezőtlen 2003-as évben – nem öntözött változatban – a változók között (a SPAD-érték és a termés) 6 leveles állapotban nem tudunk szignifikáns kapcsolatot kimutatni. A 12 leveles állapotban mért SPAD-érték és a termés korrelációs kapcsolat erőssége közepes ($r=0,478$). Az összefüggés az 50%-os nővirágzás állapotban is közepes ($r=0,562$) volt, amely az öntözött változatban szorosabb ($r=0,676$) volt, mint nem öntözött változatban ($r=0,562$). A változók közötti kapcsolat jellemzésére legalkalmasabb a lineáris függvény ($P<0,001$). Nem öntözött változatban a SPAD-érték 12 leveles állapotban 22,9%-os és virágzáskor 31,6%-os, amelynek öntözött változatában 45,7%-os determinációs együtthatónak bizonyult (35–36. ábra).

Az átlagos csapadékellátottságú 2004-ben a változók között a korrelációs kapcsolat erőssége 6 leveles állapotban a nem öntözött ($r=0,154$), és az öntözött ($r=0,239$) változatban is gyenge volt. A determinációs együttható értéke a nem öntözött változatban 12 leveles és 50%-os nővirágzás állapotban sokat javult (0,970 és 0,972). Azaz a SPAD-érték 97,0, illetve 97,2%-os, öntözött változatban kisebb mértékű 37,0 illetve 94,2%-os determinációs együtthatónak bizonyult. A két változó közötti kapcsolat pontdiagramját, valamint a ponthalmazra illesztett regressziós egyenest 37–38. ábra szemlélteti.

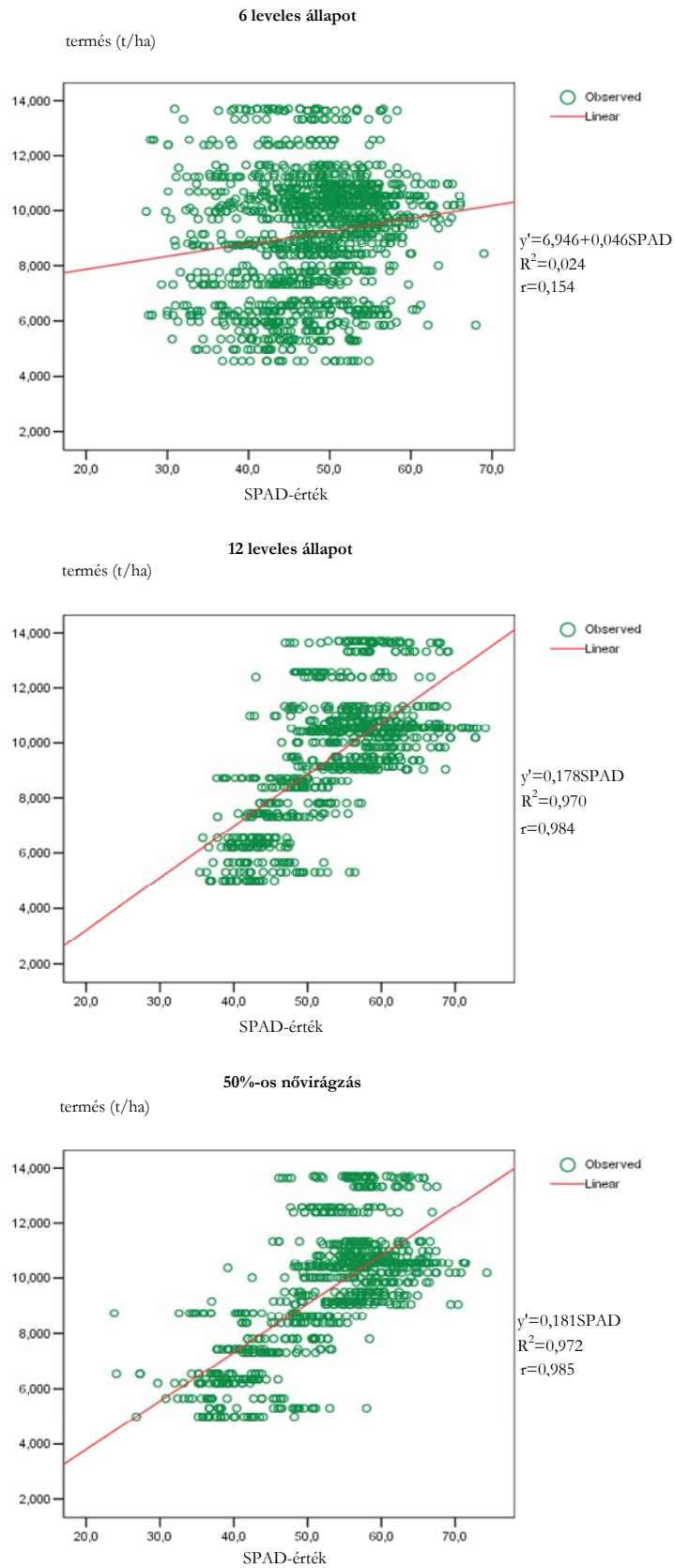
35. ábra: *A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés (nem öntözött változat) (Debrecen, 2003)*



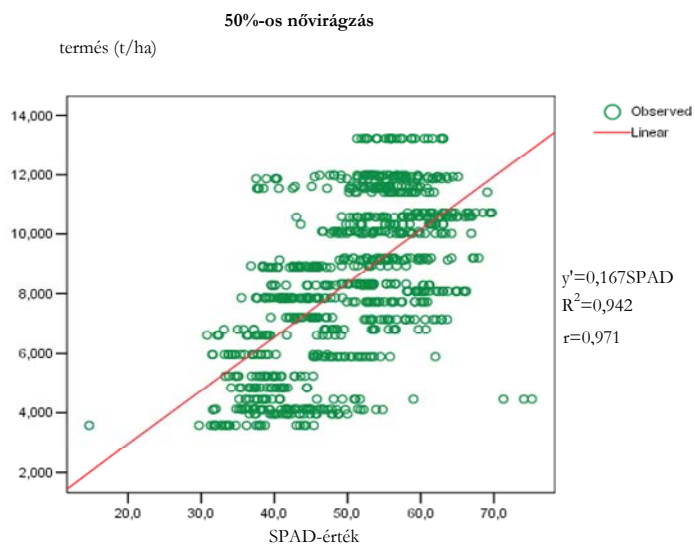
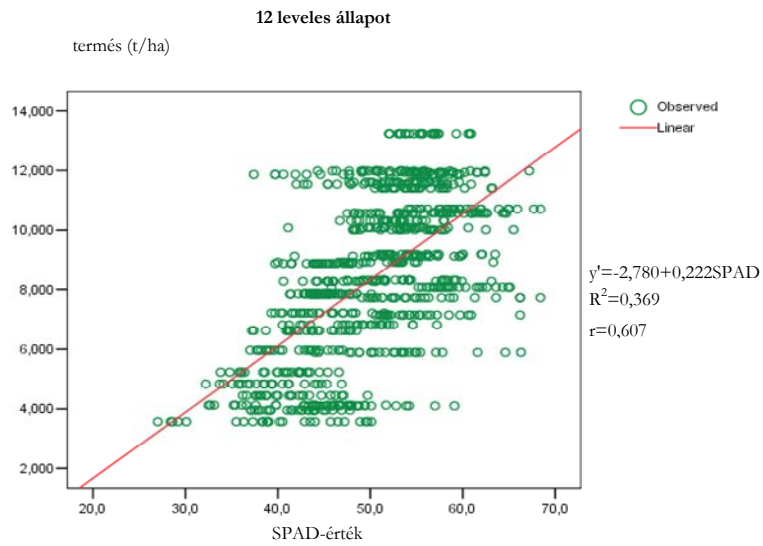
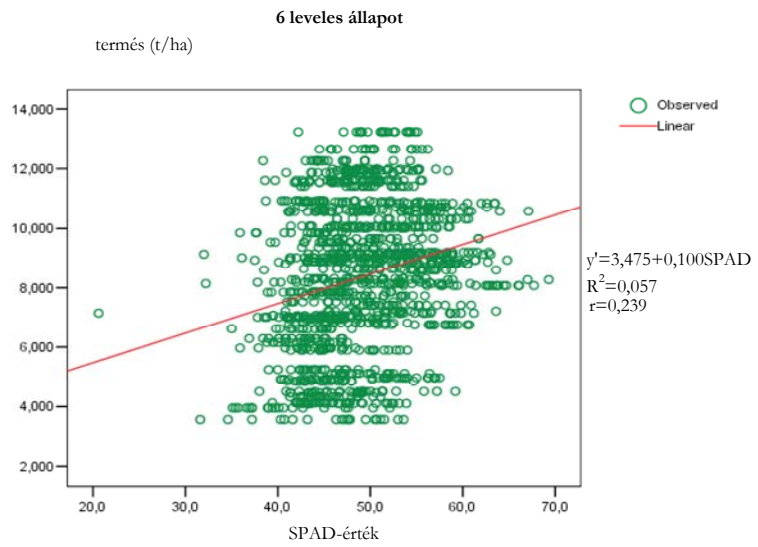
36. ábra: *A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés (öntözött változat) (Debrecen, 2003)*



37. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2004)



38. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(öntözött változat)
(Debrecen, 2004)

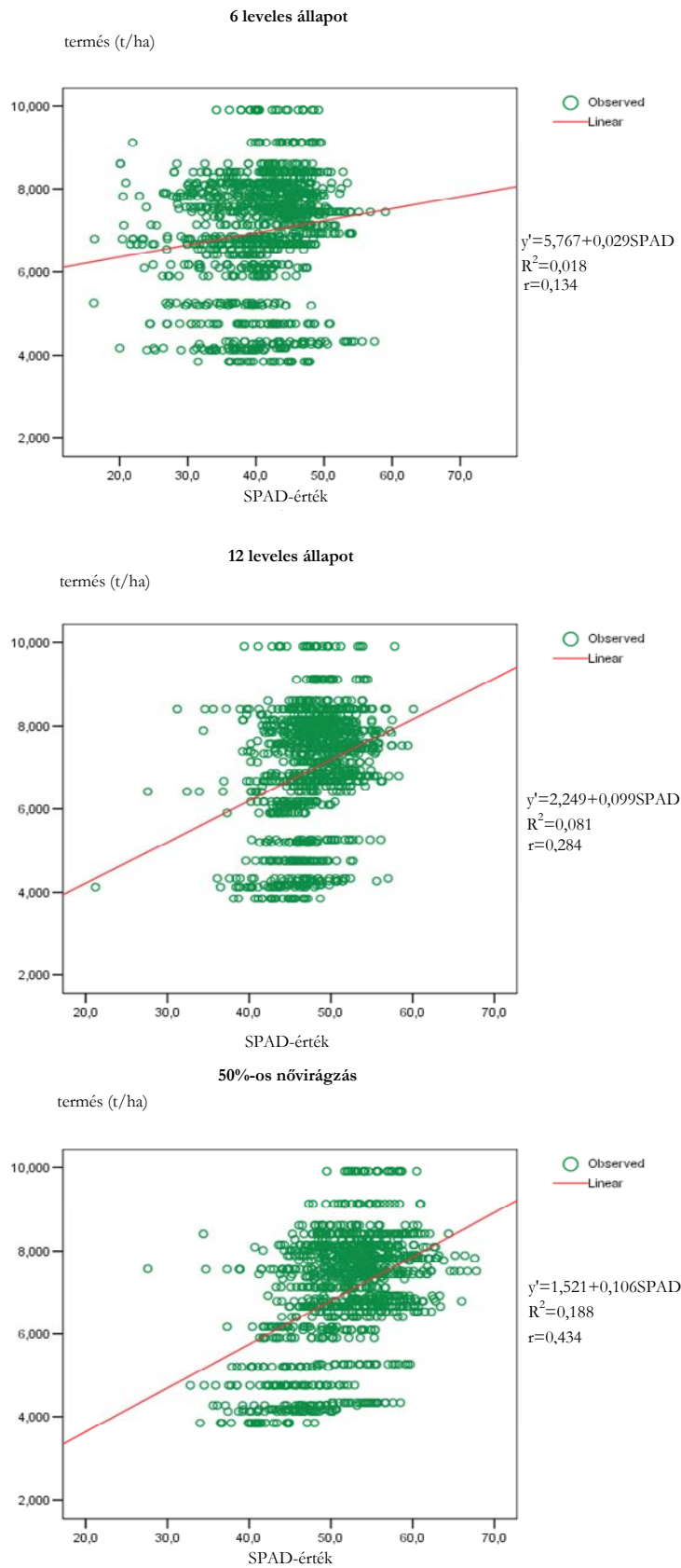


A SPAD-érték 2006-ban nem öntözött változatban – 6 leveles állapot – gyenge (0,134), míg öntözött változatban nincs kapcsolat a két változó között. Nem öntözött változatban – a másik két mérési időpontban – a SPAD-érték és a termés közötti kapcsolat javult, erőssége közepesnél gyengébb maradt. Öntözött változatban is a vegetációs idő előrehaladtával javult a sztochasztikus kapcsolat, erőssége azonban – a 2004 évhez hasonlóan – gyengébb volt, mint a nem öntözött változatban. A változók között a kapcsolat viszont szignifikáns ($P < 0,001$) volt (39–40. ábra).

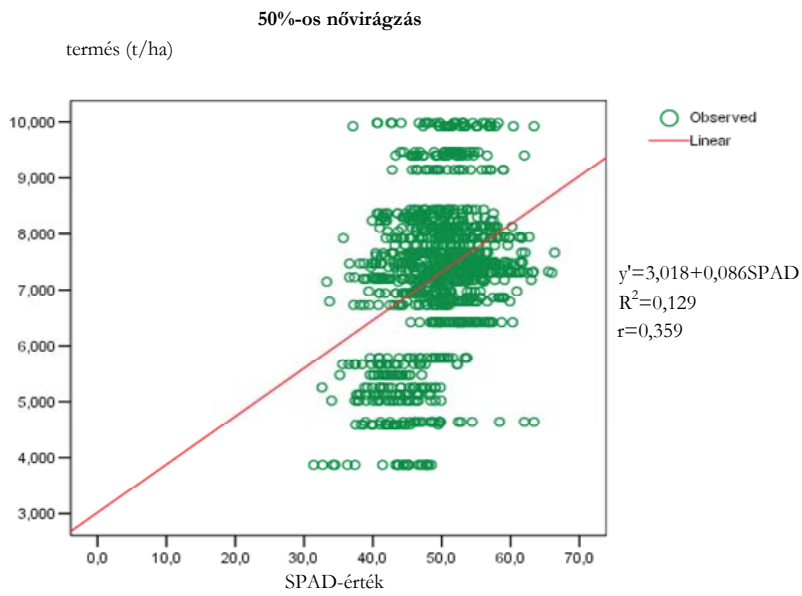
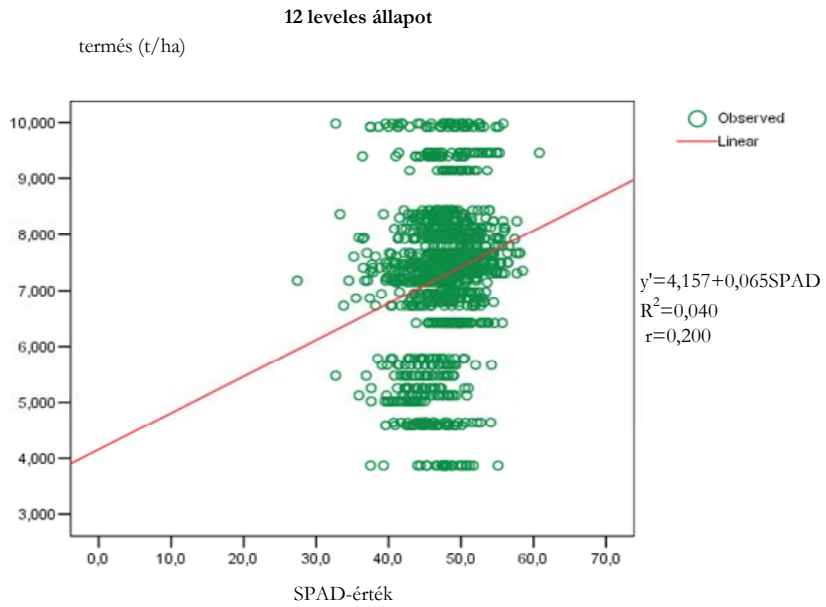
Az aszályos 2007-es évben nem öntözött változatban a kukorica termése és a SPAD-érték között 6 és 12 leveles állapotban ($P < 0,01$) összefüggést nem tudtunk kimutatni, addig az 50%-os nővirágzás állapotban ($P < 0,001$) a kapcsolat szignifikáns volt. Öntözött változatban a 6 és 12 leveles állapotban mért SPAD-érték és a termés gyenge ($r = 0,137$; $r = 0,224$), míg az 50%-os nővirágzás állapotban szoros ($r = 0,713$) sztochasztikus kapcsolatban volt. Ebben az évben – a 2003-as évhez hasonlóan – öntözött változatban minden mérési időpontban szorosabb összefüggést mutattunk ki, mint nem öntözött változatban, amit az F-próba ($P < 0,001$) szignifikancia szint is igazolt (41–42. ábra).

Megállapítottuk, hogy a nem öntözött és öntözött változatban a korrelációs koefficiens előjele egyaránt pozitív, vagyis a SPAD-érték növekedésével a kukorica termésmennyisége is nőtt. A száraz évek közül csak 2007 év adatainak változása volt következetes, amikor is az öntözött változat esetén a SPAD-értékek mindhárom mérési időpontban vizsgálva szorosabb összefüggést mutattak a terméssel, mint a nem öntözött változatban. Ezzel szemben az átlagos csapadékellátottságú években (2004 és 2006) öntözés hatására csökkent a SPAD-érték és a termés összefüggésének a szorossága (30–33. táblázat).

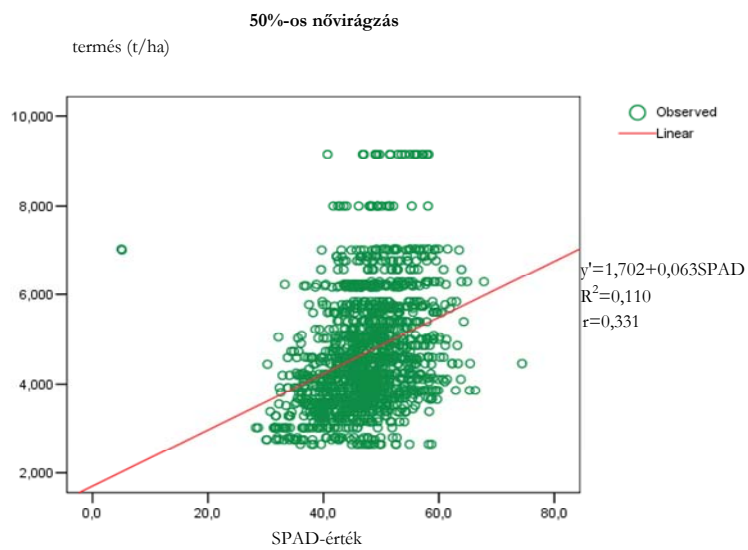
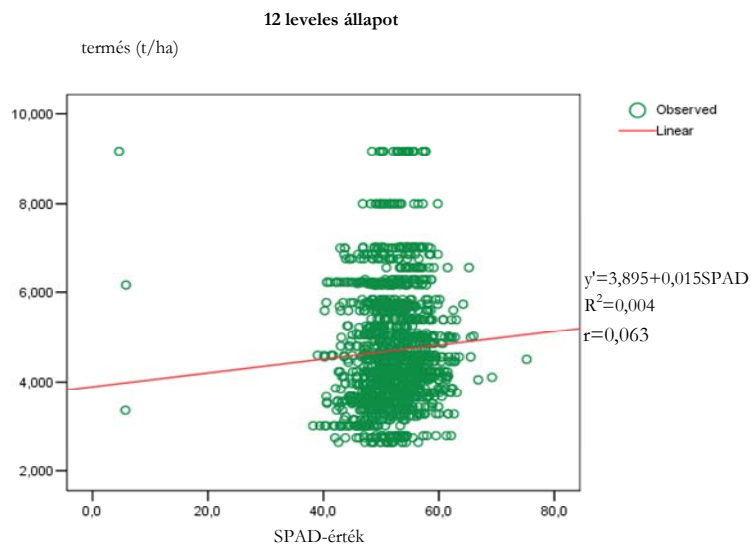
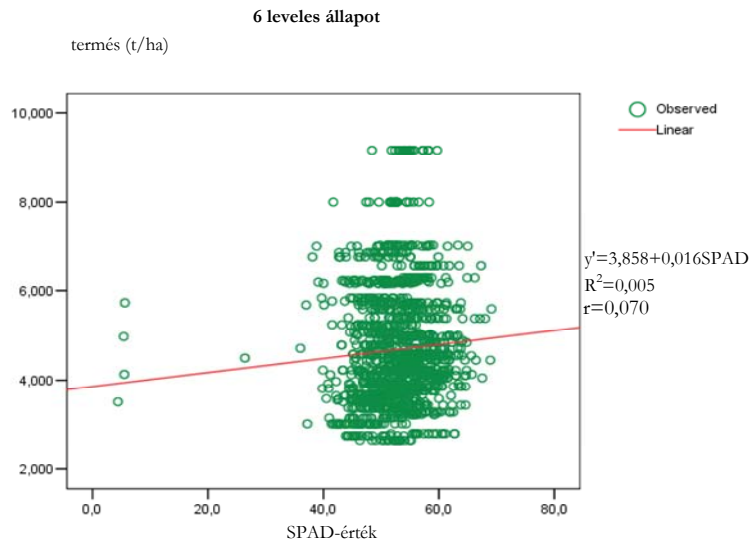
39. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2006)



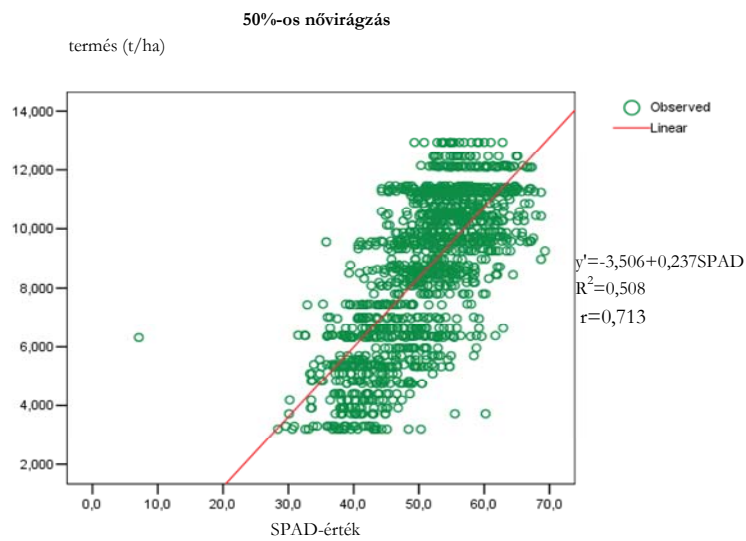
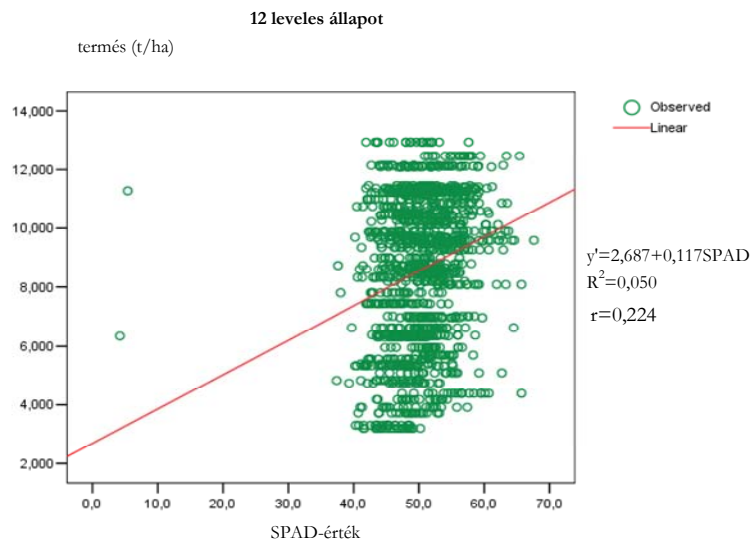
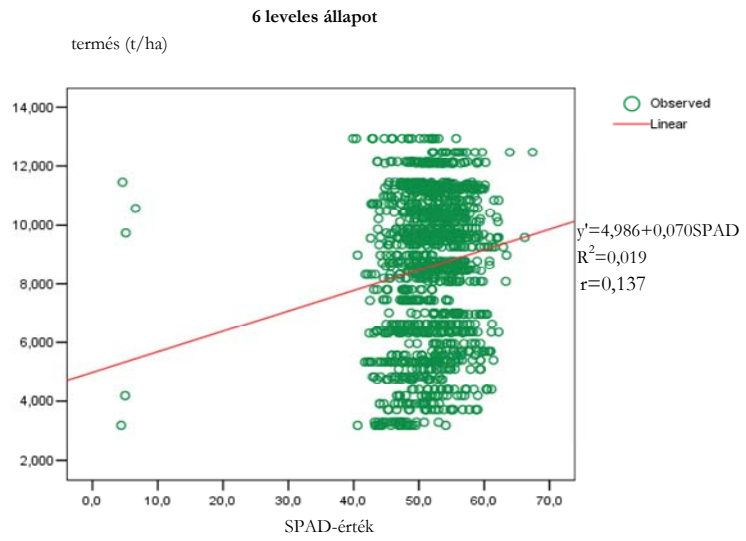
40. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(öntözött változat)
(Debrecen, 2006)



41. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2007)



42. ábra: A kukorica SPAD-értéke és a termés (t/ha) közötti összefüggés
(öntözött változat)
(Debrecen, 2007)



30. táblázat. *A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye (nem öntözött változat)*
(Debrecen, 2003 és 2007 évek átlaga)

		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	757,8	1	757,8	171,7***
	Maradék	14820,9	3358	4,4	
	Összesen	15578,7	3359		
	r: 0,221				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,101 b ₀ : 1,215 b ₁ : 0,095				
12 leveles állapot	Regresszió	1814,9	1	1814,9	442,8***
	Maradék	13763,7	3358	4,1	
	Összesen	15578,7	3359		
	r: 0,341				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,025 b ₀ : -0,692 b ₁ : 0,132				
50%-os nővirágzás	Regresszió	2685,2	1	2685,2	699,3***
	Maradék	12893,5	3358	3,8	
	Összesen	15578,7	3359		
	r: 0,415				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,959 b ₀ : 1,907 b ₁ : 0,091				

***P=0,1%

31. táblázat. *A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye (öntözött változat)*
(Debrecen, 2003 és 2007 évek átlaga)

		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	177,7	1	177,7	27,46***
	Maradék	9307,6	1438	6,5	
	Összesen	9485,3	1439		
	r: 0,137				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,544 b ₀ : 4,986 b ₁ : 0,070				
12 leveles állapot	Regresszió	474,8	1	474,8	75,8***
	Maradék	9010,5	1438	6,3	
	Összesen	9485,3	1439		
	r: 0,224				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,503 b ₀ : 2,687 b ₁ : 0,117				
50%-os nővirágzás	Regresszió	8429,9	1	8429,9	2720,9***
	Maradék	10403,7	3358	3,098	
	Összesen	18833,6	3359		
	r: 0,669				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,760 b ₀ : 0,360 b ₁ : 0,164				

***P=0,1%

32. táblázat. *A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye*
(nem öntözött változat)
(Debrecen, 2004 és 2006 évek átlaga)

		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	1448,5	1	1448,5	355,7***
	Maradék	10743,4	2638	4,0	
	Összesen	12191,9	2639		
	r: 0,345				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,018 b ₀ : 3,865 b ₁ : 0,096				
12 leveles állapot	Regresszió	4343,4	1	4343,3	1509,2***
	Maradék	6037,9	2098	2,9	
	Összesen	10381,3	2099		
	r: 0,647				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,696 b ₀ : -2,821 b ₁ : 0,216				
50%-os nővirágzás	Regresszió	2953,8	1	2953,8	834,4***
	Maradék	7427,5	2098	3,5	
	Összesen	10381,3	2099		
	r: 0,533				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,882 b ₀ : -0,409 b ₁ : 0,163				

***P=0,1%

33. táblázat. *A SPAD-érték és termés (t/ha) közötti összefüggés, a lineáris (összevont) regresszió eredménye*
(öntözött változat)
(Debrecen, 2004 és 2006 évek átlaga)

		SS	DF	MS	F
6 leveles állapot	Regresszió	803,3	1	803,3	200,1***
	Maradék	10587,8	2638	4,014	
	Összesen	11391,1	2639		
	r: 0,266				
	Illesztés hibája (t/ha): 2,003 b ₀ : 4,838 b ₁ : 0,068				
12 leveles állapot	Regresszió	2490,7	1	2490,7	785,7***
	Maradék	6650,4	2098	3,2	
	Összesen	9141,09	2099		
	r: 0,522				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,780 b ₀ : -1,354 b ₁ : 0,187				
50%-os nővirágzás	Regresszió	2534,1	1	2534,1	804,7***
	Maradék	6607,0	2098	3,1	
	Összesen	9141,1	2099		
	r: 0,527				
	Illesztés hibája (t/ha): 1,775 b ₀ : 0,236 b ₁ : 0,151				

***P=0,1%

5.6. N-trágyázási szaktanácsadás SPAD-érték alapján

A kutatás végső célja megvizsgálni azt, hogy az elért eredmények trágyázási szaktanácsadási módszer formájában szolgálják-e a gyakorlati növénytermesztést. A trágyázási szaktanácsadásban az egyik legnehezebb kérdés a legnagyobb hatású ásványi tápelem a nitrogén szükséglet meghatározása. A N-műtrágya a legdrágább. Előállítására kifejezetten energia igényes. A N-trágyázással lehet a legsúlyosabb hibákat elkövetni. A gyenge N-ellátottság jelentősen érzéketlen hatását a termés mennyiségében és minőségében. A fölösleg viszont helyrehozhatatlan károkat okozhat a környezetünkben.

A SPAD-502 hordozható klorofill mérőműszer azonnali méréseket végez a növény levelének fényelnyeléséről, ami közvetlen kapcsolatban van a levél klorofilltartalmával. Miután a levél nitrogéntartalmának nagy része a klorofillmolekulában tárolódik, szoros a kapcsolat a levél N- és klorofilltartalma között.

Kísérleti eredményeink bizonyították, hogy a SPAD-érték és a termés között nem öntözött változatban 12 leveles, öntözött változatban már 6 leveles állapotban összefüggés van, így a klorofill mérőműszer által mért értékek indikátorként szolgálhatnak a kukoricánövények N-állapotának és az optimális termés eléréséhez szükséges kiegészítő N-műtrágyaigény tekintetében.

A klorofillmérő eredményeit a N-állapot mellett egyéb tényezők is befolyásolhatják. A hibridek, a talaj- és léghőmérséklet, vetésidő, levélállapot és levélpozíció, növénybetegségek és egyéb tápanyaghiányok meghatározhatják a kukorica levelének színét. E zavaró tényezők hatásának kiküszöbölésére *N-műtrágyával megfelelően kezelt referencia terület beállítását javasoljuk*. Így a vizsgált szántóföldi klorofillmérések összehasonlíthatók a referencia terület eredményeivel.

A referencia terület lehet két kisebb (4,5 m x 5 m) kézzel műtrágyázott parcella, vagy 6 soros hosszabb sáv, melyet géppel műtrágyáznak. A referencia területre a jó minőségű komplex műtrágyát ősszel, szántás előtt, a mono N-műtrágyát a vetés előtt a talajba dolgozva kell kijuttatni. Mennyisége 150 kg N/ha. Fontos, hogy a referencia terület reprezentatív legyen.

Referencia értéknek 150 kg/ha nitrogént kapott kezelések SPAD-értékét használtuk, és ehhez viszonyítottuk a kísérlet többi műtrágya-hatóanyag kezelés SPAD-értékeit. Évenként, hibridenként, két változatban (nem öntözött, öntözött) meghatároztuk a maximális terméshez tartozó műtrágyaadag nagyságát. Ezek az értékek átlagban nem voltak kisebbek a referencia SPAD-érték 98%-nál, ezért a 98% vagy ennél nagyobb relatív SPAD-érték estében az aktuálisan kiadagolt műtrágyaadag elegendőnek bizonyult. A 98%-nál jelentősen kisebb érték esetén pótlólagos műtrágya-hatóanyag kijuttatása szükséges a gazdaságosan nagy termés eléréséhez. Kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a nem öntözött és öntözött változatban a

pótlólag kiadagolandó műtrágya mennyisége különbözik. Adataink azt is bizonyítják, hogy kockázat nélkül alaptrágyaként kijuttatható nitrogén mennyiség az I termőhelyi kategóriába tartozó csernozjom talajon, nem öntözött körülmények között 60 kg N/ha, öntözött körülmények között 90 kg N/ha. Ennek a mennyiségnek a kijuttatását évről-évre függetlenül javasoljuk. Ezt követően a referencia területen mért SPAD-értékhez viszonyítottuk az összes kezelés kombináció SPAD-értékét. Majd regresszió analízissel meghatároztuk, hogy egy hiányszázalék SPAD-érték mennyi műtrágya-hatóanyagot felel meg. Ez nem öntözött változatban 6 kg N/ha míg öntözött változatban 9 kg N/ha műtrágya-hatóanyagot eredményezett.

A klorofillméréseket 6 leveles állapotban kell elkezdeni. Ekkor még van lehetőség pótlólagos műtrágya kijuttatására. Az időjárási körülményektől függően egy újabb levél 3–4 nap elteltével jelenik meg. A levélszámtól függően a nitrogén műtrágya kijuttatható kultivátorozással egy menetben, vagy levéltrágyázással (növényvédelmi munkákkal egy menetben) mint költségtakarékos tápanyag-utánpótlási technológia. Ezek a gyors beavatkozások lehetővé teszik a kialakult esetleges N-hiány kiküszöbölését.

A referencia terület és a környező területek átlagméréseinek elvégzése után az ajánlott, az alap műtrágyán felüli pótlólagos N-mennyiséget a következő módon határozhatjuk meg:

Nem öntözött változatban: Amennyiben a relatív SPAD-érték 98% vagy ennél nagyobb, akkor a termőterületen elegendő az alap műtrágya-hatóanyagként kijuttatott 60 kg N/ha. Ha ettől jelentősen kisebb, akkor minden egyes hiányszázalékra 6 kg N/ha hatóanyag mennyiség kijuttatását javasoljuk. Amennyiben a pótlólag kiadagolandó műtrágya-hatóanyag mennyiség meghaladná a 60 kg N/ha-t, javaslatunk akkor sem több mint 60 kg N/ha. A számítást az alábbi képlet segítségével végeztük:

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 6 \text{ kg N / ha}$$

Ahol:

SPAD_{ref}: a referencia terület SPAD-értéke

SPAD_t: a műtrágyázandó táblán mért SPAD-érték

Öntözött változatban: A számítás hasonló a nem öntözött változathoz. Természetesen, itt az alapműtrágya-hatóanyag 90 kg N/ha. Minden egyes hiányszázalékra ebben a változatban 9 kg N/ha hatóanyag mennyiség kijuttatását javasoljuk. Ha a pótlólag kiadagolandó műtrágya-hatóanyag meghaladja a 60 kg N/ha-t, javaslatunk akkor sem több mint 60 kg N/ha. A fenti képlet az alábbiakra módosult:

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 9 \text{ kg N / ha}$$

Ahol:

SPAD_{ref}: a referencia terület SPAD-értéke

SPAD_t: a műtrágyázandó táblán mért SPAD-érték

A 34. táblázatban példaként közöljük a csernozjom talajra javasolt pótlólagos műtrágya-hatóanyag mennyiségét nem öntözött és öntözött körülmények között a SPAD-érték és a referencia SPAD-érték hányados hiányszázalékának függvényében.

34. táblázat. *Javaslat a pótlólag kijuttatandó nitrogén műtrágya-hatóanyag mennyiségére (kg/ha)*

100*SPAD/SPAD _{ref} (%)	Nem öntözött	Öntözött
70	60	60
75	60	60
80	60	60
85	60	60
90	60	60
92	48	60
94	36	54
96	24	36
98	12	18
100	0	0

6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Az eredményes kukoricatermelés műtrágya használata nélkül nem elképzelhető. A leghatékonyabb, legnagyobb hasznot biztosító tápanyagadag meghatározása, amely környezetvédelmi szempontból is megfelelő, állandó kutatási és fejlesztési feladat.

A kukoricahibridek fontos értékmérője, hogy a talaj természetes tápanyagkészletét milyen mértékben képesek hasznosítani. A tartamkísérletek kontroll parcellái, amelyek több mint 23 éve nem műtrágyáztak garantálják az eredmények megbízhatóságát.

Gyakorlati szempontból feltétlenül figyelembe kell venni, hogy a tartamkísérletek eredményei nem egyetlen év tápanyag-hatásait reprezentálják, hanem a 23 év alatt fokozatosan kialakított állapot, utolsó 4 évének eredményei. Az adatok alapján képet adhatunk egy következetesen harmonikus növénytáplálásra törekvő termelői szemlélet és a talaj zsarolását előtérbe helyező szemlélet jól mérhető következményeiről. A kísérletek modell-szemléletű értékelése rávilágít, hogy a rendszeres harmonikus trágyázás, a kritikus időszakokban igen jelentős kárcsökkentő tényezővé válik.

A műtrágyázás SPAD-érték-, és termésnövelő hatása a vizsgált években bizonyított, mértéke viszont évenként változott.

A növényi részek SPAD-érték változásával kapcsolatban a kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy azonos vízellátás mellett a műtrágyaadagok növelésével a levélben emelkedik a SPAD-érték, a növekvő vízellátás pedig – azonos tápanyagellátás esetén – csökkenti a nitrogénkoncentrációt.

Megállapítottuk, hogy a nitrogén műtrágyázás helyes technológiáját a kukorica nitrogén igénye mellett a növény tápanyag-felvételi görbéje, dinamikája nagyban befolyásolja. A kukorica nitrogén felvételét a vegetáció során az öntözés és az évjárat nagyban módosítja.

A műtrágyázás, az öntözés és az évjárat hatását vizsgálva a kukorica termésére négy év figyelembevételével megállapítottuk, hogy legjelentősebb hatása a műtrágyázásnak, majd az évjáratnak ezt követően az öntözésnek volt. A kölcsönhatások mindegyike szignifikáns ($P < 0,001$) különbséget mutatott, közülük legjelentősebb az év x öntözés kölcsönhatás. Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a termés ingadozásában nagyon jelentős a műtrágyázás és az öntözés hatása, melyet azonban az évjárat jelentősen módosíthat.

A SPAD-érték és a kukoricatermés elemzése során azt állapítottuk meg, hogy a vegetációs idő előrehaladtával – mind a nem öntözött, mind az öntözött változatban – a két változó közötti összefüggés r-értéke növekedett. A korrelációs együttható értéke mindkét változatban pozitív, vagyis a SPAD-érték növekedésével párhuzamosan a termés mennyisége is nőtt. A statisztikai értékelés

alapján a két változó közötti összefüggés lineáris függvénnyel írható le, amit az F-próba is igazolt 0,1%-os szignifikancia szint mellett.

Kutatási eredményeink segítséget nyújtanak azoknak a termelőknek, akik nem ismerik kellőképpen a termelési körülményeket, illetve a magasan képzett szakembereknek az N-mennyiségének meghatározásában, ezáltal csökkentve a kukorica alul-, vagy túltrágyázásának veszélyét. Ez a technológia kiegészíti, nem pedig helyettesíti a már bizonyított N gazdálkodási gyakorlatot és a hozzáértő gazdálkodás egyéb irányelveit.

7. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

- A műtrágyázás szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte a SPAD-értékeket. A műtrágyázás és a SPAD-érték közötti összefüggés 6 leveles állapotban gyenge, ami a vegetációs időszak előrehaladtával egyre szorosabbá vált. A statisztikailag igazolt legnagyobb SPAD-értéket – mind a száraz, mind az átlagos csapadékellátottságú évjáratban – 6 leveles állapotban nem öntözött változatban 60 kg N/ha, öntözött változatban 30 kg N/ha, 12 leveles és az 50%-os nővirágzás állapotban 120–120 kg N/ha műtrágya-hatóanyag kijuttatásával értünk el.
- A műtrágyázás és a SPAD-érték közötti kapcsolatot az évjárat nagymértékben befolyásolta. Nem öntözött változatban szoros a kapcsolat az átlagos csapadékellátottságú 2004-ben, és leggyengébb volt a legszárazabb 2007-ben. Az öntözés száraz évjáratban 1,14 t/ha-ral növelte a kukorica termését, míg az átlagos csapadékellátottságú években megbízható öntözéshatás nem volt. A nem öntözött változatban alacsonyabb (60 kg N/ha) az öntözött változatban magasabb (120 kg N/ha) műtrágya-hatóanyag bizonyult szükségesnek a statisztikailag igazolt legtöbb termés eléréséhez. Az öntözés csak a száraz évjáratban és az 50%-os nővirágzáskor mérve növelte megbízhatóan a SPAD-értéket. Az öntözés hatására 6 leveles állapotban nagyobb mértékben csökkent a klorofillkoncentráció, mint az 50%-os nővirágzáskor. Az aszályos 2007 évben az öntözés jelentősen szorosabbá tette a SPAD-érték és a termés összefüggését.
- A tenyészidőszak előrehaladtával a SPAD-érték a száraz évjáratban következetesen csökkent, míg átlagos csapadékellátottságú évjáratban nőtt. Száraz évjáratban a SPAD-érték az 50%-os nővirágzás időszakára erőteljesen lecsökkent.
- A SPAD-érték és a kukorica termése közötti összefüggés (korreláció) együtthatója minden esetben pozitív előjelű, amely a tenyészidő előrehaladtával következetesen szorosabbá vált
- Eredményeink lehetővé teszik a trágyázási szaktanácsadás továbbfejlesztését.
 - Ha a relatív SPAD-érték 6 leveles állapotban jelentős mennyiségű N-hiányt mutat, akkor a N-hatóanyag tenyészidőbeni kijuttatása javasolt.
 - A 12 leveles állapotban, illetve az 50%-os nővirágzás időpontjában végzett mérések eredményei a következő évi N-hatóanyag dózisok becsléséhez szolgálnak támpontként a korrelációs együttható formájában.

Nem öntözött változatban, ha a relatív SPAD-érték 98% vagy ennél nagyobb, akkor elegendő az alap műtrágya-hatóanyagként kijuttatott 60 kg N/ha. Ha ettől jelentősen kisebb, akkor minden egyes hiányszázalékra 6 kg N/ha kijuttatását javasoljuk. Öntözött változatban az alapműtrágya-hatóanyag 90 kg N/ha, és minden egyes hiányszázalékra ebben a változatban nagyobb 9 kg N/ha kijuttatását javasoljuk.

8. ÖSSZEFOGLALÁS

A kutatás során arra kerestük a választ, hogy a műtrágyázásnak, az öntözésnek és az évjáratnak, valamint a három tényező kölcsönhatásának milyen hatása van a kukorica SPAD-értékére és a termésre, továbbá a közöttük lévő összefüggésre. Célkitűzésünk volt megállapítani, hogy a klorofillmérővel kapott eredmények használhatók-e a kukorica trágyázási szaktanácsadó-hálózatban.

A műtrágya kezelések hatáselemzésének megbízhatóságát nagymértékben növeli, hogy az egyetemi szántóföldi tartamkísérletben a kezelések tartamhatása meghaladja a húsz évet.

A vizsgálatokat a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Látóképi Kísérleti Telepén, közepkötött mészlepedékes csernozjom talajon 1984-ben alapított háromtényezős sávos elrendezésű szántóföldi tartamkísérletben végeztük 2003 és 2007 között.

A műtrágya-hatóanyagok: 1 N : 0,75 P₂O₅ : 0,88 K₂O konstans arányú NPK dózisosok. A nitrogén alapidózis 30 kg N/ha. A műtrágyázás nélküli kontroll mellett ennek 1, 2, 3, 4, 5-szörös dózisait alkalmaztuk. A szántóföldi tartamkísérletnek nem öntözött és öntözött változata van.

A kukoricalevél relatív klorofill koncentrációját a SPAD-502 típusú hordozható klorofill mérőműszerrel mértük, és értékeltük a növény tenyészidőszak alatti N-koncentrációját. A méréseket N-kezelésenként, továbbá annak nem öntözött és öntözött változatán végeztük. A vizsgálatban szereplő hibridek: Debreceni 377, DK 391, Mv 277 és a Szegedi SC 352. A méréseket minden évben már 6 leveles állapotban megkezdjük. A további méréseket a kukorica 12 leveles korában és az 50%-os nővirágzás időszakában végeztük. A vetéstől a betakarításig eltelt napok száma a hibridek átlagában vizsgálva évenként eltérő volt: 2003-ban 84-, 2004-ben 80-, 2006-ban 78- és 2007-ben 71 nap, ami a hőösszeg évenkénti alakulásával hozható összefüggésbe. A betakarítást 2003-ban 09.18-án, 2004-ben 10.27-én, 2006-ban 10.16-án és 2007-ben 10.08-án végeztük.

A kukorica SPAD-értékei és a termesztési tényezők, valamint a termés és a termesztési tényezők közötti kapcsolatot *általános lineáris modellel* (GLM) értékeltük. A SPAD-értékek és SPAD-klorofillkoncentráció, valamint a termés középértékeinek összehasonlítását *Duncan-teszttel* végeztük. A N-műtrágya és a SPAD-érték közötti összefüggést, valamint a N-műtrágya és a termés közötti összefüggést *logaritmikus függvényvel* vizsgáltuk. A SPAD-érték és a termés közötti kapcsolatot *lineáris függvény* segítségével értékeltük. A függvényeket regresszió-analízissel, az eltérésnégyzetösszeg minimalizálásával illesztettük. A függvények illeszkedésének megbízhatóságát az R-értékkel és a Hiba MS nagyságával adtuk meg. A kiértékelést az SPSS for Windows 13.0 statisztikai programcsomaggal végeztük.

A **műtrágyázás hatását** a SPAD-értékre a debreceni szántóföldi tartamkísérlet *nem öntözött változatában* évenként, valamint száraz és átlagos csapadékellátottságú évekre elkülönítve elemeztük. A műtrágyázás a vizsgált évjáratok mindegyikében – mindhárom mérési időpontban – szignifikánsan ($P < 0,001$) növelte a SPAD-értékeket. Az év x NPK (A x B) kölcsönhatás 0,1%-os szinten volt szignifikáns. Ez a kölcsönhatás azt mutatja, hogy a műtrágyázás hatása évjáratról függően változott, valamint az 50%-os nővirágzás időpontjához közeledve az évjárat hatása egyre jelentősebb. Az átlagos csapadékellátottságú évjáratban a 12 leveles állapotig az évjárat módosító hatása nő, a virágzás időpontjában ez a hatás csökken. Duncan-féle teszttel 5%-os szignifikancia szint mellett igazoltuk, hogy nem öntözött körülmények között a száraz és az átlagos évjáratban egyaránt a 6 leveles állapotban 60 kg N/ha műtrágya-hatóanyag, a 12 leveles és az 50%-os nővirágzás időpontjában a 120 kg N/ha N-hatóanyag szinten mértük a nagyobb SPAD-értékeket.

A legalacsonyabb SPAD-értékeket a vizsgált évek mindegyikében – mindhárom mérési időpontban – az 1984 óta nem műtrágyázott parcellákon mértük. A nitrogén hiány következtében kevés klorofill képződött a levelekben, így a sárga pigmentek, karotin és a xantofill került túlsúlyba (sárga levél). A legnagyobb SPAD-értéket 2004-ben (60,3) mértük. A műtrágyázott parcellák átlagos SPAD-értékei a száraz évjáratban, a 6 és 12 leveles állapotban (53,6; 53,4) nagyobbak voltak, mint az átlagos évjáratban (45,1; 51,5). Az 50%-os nővirágzás időpontjában viszont az átlagos évjáratban mértünk nagyobb SPAD-értéket (53,7), mint a száraz évjáratban (49,9). A különbség minden esetben szignifikáns ($P < 0,001$) volt. A trágyahatást a vízhiány 2007-ben csökkentette a legnagyobb mértékben. Száraz évjáratban a műtrágyázás kontrollhoz viszonyított SPAD-értéket növelő hatása 6 és 12 leveles állapotban kisebb, míg 50%-os nővirágzáskor nagyobb volt, mint az átlagos évjáratban.

A műtrágyázás és a SPAD-érték közötti kapcsolatot regresszió analízissel vizsgáltuk. A két változó között szoros kapcsolat 2004-ben 12 leveles ($r=0,694$) és 50%-os nővirágzás időpontjában ($r=0,737$) volt. A leggyengébb összefüggés a vizsgált évek közül a legszárazabb 2007 évben volt.

A műtrágyázás hatása *öntözött változatban* is a vizsgálat mind a négy évében mind a három mérési időpontban statisztikailag ($P < 0,001$) bizonyított.

Az év x NPK kölcsönhatás 0,1%-os szinten volt szignifikáns, vagyis az NPK hatása a SPAD-értékre évenként változott. A nem öntözött változathoz hasonlóan az átlagos csapadékellátottságú évjáratban az év x NPK kölcsönhatás SS értéke 12 leveles állapotig nőtt, majd csökkenést mutatott. A 6 leveles állapotban a 30 kg N/ha dózis a kontrollhoz viszonyítva megbízhatóan növelte a SPAD-értéket. A N-dózis további növelése nem indokolt. A 12 leveles

és az 50%-os nővirágzású kukoricánál a kontrollhoz viszonyítva csak a hektáronkénti 120 kg/ha adagú N-hatóanyag eredményezte a SPAD-érték szignifikáns növekedését. A műtrágyázás hatása öntözött változatban az 50%-os nővirágzás időpontjában jelentősebb volt, mint a nem öntözött változatban. Mind a száraz, mind az átlagos csapadékellátottságú évjáratban 6 leveles állapotban, a műtrágya-hatóanyag kezelések átlaga jelentős mértékben eltért, a 12 leveles és az 50%-os nővirágzás állapotban a két évjárat, hasonlóan alakult. A regresszió analízis eredménye alapján megállapítottuk, hogy mindhárom mérési időpontban a két változó között szignifikáns ($P < 0,001$) kapcsolat van. Az 50%-os nővirágzáskori mérések esetében a legszorosabb összefüggést ($r = 0,728$) 2003-ban kaptuk. A vizsgált évek mindegyikében az 50%-os nővirágzáskori adatok szorosabb összefüggést mutattak, mint 6, illetve 12 leveles állapotban mért adatok.

Az **öntözés** 6 leveles állapot kivételével megbízhatóan befolyásolta a kukorica SPAD-értékét. Száraz évjáratban ($P < 0,001$), átlagos csapadékellátottságú évjáratban ($P < 0,05$) szinten. Számszerű hatása viszont kisebb, mint a műtrágyázásé. A nem műtrágyázott kezelésekben az öntözés – 50%-os nővirágzás állapotot kivéve – csökkentette a SPAD-értékeket, ennek mértéke az átlagos csapadékellátottságú években szignifikánsan nagyobb volt. Az öntözés hatása az aszályos 2007-ben – 50%-os nővirágzás állapotban – volt a legjelentősebb. Hazai és külföldi kutatásokkal egyezően kísérleti adataink is igazolták, hogy az öntözés csökkenti a klorofillkoncentrációt és ezáltal a nitrogénkoncentrációt is. Az öntözés SPAD-értékre gyakorolt hatásának vizsgálatánál és elemzésénél azt állapíthattuk meg, hogy az öntözés a száraz évjáratban az 50%-os nővirágzás időpontban a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában a SPAD-értéket megbízhatóan ($P < 0,01$) növelte, míg az átlagos csapadékellátottságú években – mindhárom mérési időpontban – csökkentette ($P < 0,05$). Megvizsgáltuk az öntözés hatását mindhárom mérési időpontban t-teszttel. Külön-külön mindegyik műtrágya-hatóanyag kezelésre. Megállapítottuk, hogy az öntözés minden tápanyagszinten mindkét évjáratban – az 50%-os nővirágzás, száraz évjáratot kivéve – csökkentette a kukorica SPAD-értékét.

Az öntözés x műtrágya szignifikáns kölcsönhatása – mindhárom mérési időpontban és mindkét évjáratban – bizonyította, hogy a műtrágyázás hatása a SPAD-értékre az öntözéstől függően változott.

A **SPAD-érték** – a műtrágyakezelések átlagában – *nem öntözött változatban* a száraz évjáratban 6 leveles állapotban volt a legnagyobb, ami a fejlődés során csökkent. Az 50%-os nővirágzás időszakára, 77 nap alatt 3,7 SPAD-értékkel. A legnagyobb SPAD-érték csökkenést mindkét száraz évben a kontroll parcellán mértük. A 6 leveles állapothoz viszonyítva 2003-ban 17,5 és 2007-ben 9,8 volt a levél SPAD-értékének csökkenése.

Átlagos csapadékellátottságú évjáratban (2004, 2006) a 6 leveles állapotban – a műtrágyakezelések átlagában – mértük a legalacsonyabb SPAD-értéket (44,7). A tenyészidőszak előrehaladtával a SPAD-érték növekedett, 12 leveles állapotra 6,3 és az 50%-os nővirágzás időpontra további 2,3 értékkel. A N-koncentráció a levélben az 50%-os nővirágzás időpontjára dúsult fel. Legnagyobb SPAD-érték növekedést a virágzás időpontjáig a 120 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelés mutatott. A két évet külön-külön megvizsgálva megállapítottuk, hogy a SPAD-érték a tenyészidőszak alatt 2004-ben – a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában – viszonylag kisebb mértékben (2,4) növekedett, mint 2006-ban (5,3). A műtrágya-hatóanyag kezelések között 2006-ban viszont a SPAD-érték növekedés kiegyenlítettebb volt, mint 2004-ben.

A SPAD-érték *öntözött változatban*, száraz 2007 évben – a nem öntözött változathoz hasonlóan – a 6 leveles állapothoz viszonyítva 12 leveles állapotig minden műtrágya-hatóanyag kezelésben csökkent. A legnagyobb csökkenést 30 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben mértük (-2,4). További SPAD-érték csökkenés az 50%-os nővirágzáskor a nem műtrágyázott (-7,7) és a 30 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben (-2,5) volt. Az átlagos csapadékellátottságú években az 50%-os nővirágzási időpontjához közeledve növekedett a SPAD-érték. A növekedés mértéke mindkét mérési időpontban kisebb volt, mint a nem öntözött változatban. 2004-ben a nem műtrágyázott és az alacsony (30 kg/ha) műtrágya-hatóanyag kezelésben a tenyészidőszak előrehaladtával a SPAD-érték csökkent, míg 2006-ban minden tápanyagszinten növekedést mértünk. Mindkét évjáratban 50%-os nővirágzásig a legnagyobb SPAD-érték növekedést 150 kg/ha műtrágya-hatóanyag kezelésben értük el.

Az öntözés a – műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában – a száraz 2007 évben 6 leveles állapotban jelentős mértékben csökkentette a SPAD-értéket, míg a virágzás időpontjában növekedést mértünk. Az átlagos csapadékellátottságú évjáratban mindkét mérési időpontban a SPAD-értéket csökkentette az öntözés, a legnagyobb csökkenés 12 leveles állapotban volt.

Öntözés nélküli változatban a **műtrágyázás hatása** a kukorica **terméseredményére** 2004-ben (3,979 t/ha) volt legnagyobb, míg a legkisebb hatást 2007-ben mértük (1,454 t/ha). A nem műtrágyázott kezelésben a legkisebb terméseredményt 2007-ben (3,476 t/ha), a legnagyobbat 2004-ben kaptuk (5,844 t/ha). A száraz (2003, 2007) és az átlagos csapadékellátottságú évek (2004, 2006) összevont értékelésében a műtrágyahatás ($P < 0,001$) hasonlóan tekinthető (3,089 t/ha és 3,167 t/ha), amit a varianciaanalízis SS értéke is bizonyít.

A Duncan-teszt eredménye alapján, megállapítható, hogy nem öntözött változatban – száraz, és átlagos csapadékellátottságú években egyaránt – három tápanyagkezelés között (nem műtrágyázott, 30 és 60 kg N/ha) volt csak megbízható különbség. A vizsgált négy év átlagában és

évenként is 60 kg N/ha műtrágya-hatóanyag volt szükséges a megbízhatóan legnagyobb termés eléréséhez.

A nem öntözött kezelésben a műtrágyázás termésre gyakorolt hatása leíró logaritmikus függvény és az összevont statisztikai elemzés szerint alkalmas a kapcsolat leírására, ám a változók között ($r=0,547$) a kapcsolat közepes. A vizsgált években – 2007 év kivételével – szoros összefüggést mutattunk ki a műtrágyázás és a termés között. Az illesztés hibája minden évben 1 t/ha körül volt.

Kutatási eredményeink megbízhatóan bizonyították, hogy *öntözött változatban* a műtrágyázás hatása a termésre négy év átlagában nagyobb (5,021 t/ha, $P<0,001$) volt, mint a nem öntözött változatban (3,128 t/ha). A kezelések átlagában a műtrágyázás és az öntözés kölcsönhatásának a legnagyobb hatása a száraz 2007 évben volt (4,705 t/ha). A száraz évjáratban jelentősen nagyobb (4,459 t/ha) volt a műtrágyázás x öntözés hatás, mint az átlagos csapadékellátottságú (3,299 t/ha) évjáratban. A műtrágyázás és a termés közötti összefüggést tekintve a száraz évjáratban öt tápanyagszint (nem műtrágyázott, 30, 60, 90 és 120 kg N/ha), átlagos csapadékellátottságú évek átlagában négy (nem műtrágyázott, 30, 60 és 90 kg N/ha) közötti különbség is szignifikáns volt. Az öntözött változatban a kukorica évenkénti műtrágyareakciója kisebb mértékben különbözött, mint a nem öntözött változatban. Csökkent a termésingadozás. A korrelációs együttható értéke ($r=0,764$) alapján szoros összefüggés van a műtrágyázás és a szemtermés között. A becslés hibája öntözött változatban kisebb, mint a nem öntözött változatban.

Az **öntözés** a négy év és a műtrágyakezelések átlagában megbízhatóan ($P<0,001$) 1,141 t/ha-ral növelte a termést. Az öntözés – a kukorica 50%-os nővirágzás időpontjában mért SPAD-értékhez hasonlóan – a száraz években szignifikánsan ($P<0,001$) növelte, míg az átlagos csapadékellátottságú évjáratban az öntözés termésnövelő hatása nem volt szignifikáns. Öntözés hatására a legnagyobb termésnövekedést a műtrágya-hatóanyag kezelések átlagában 2007-ben (3,906 t/ha) érték el. A t-teszt segítségével – a száraz és átlagos csapadékellátottságú éveket összevontan – megvizsgáltuk az öntözés és a különböző tápanyagszintek közötti kapcsolatot, ami bizonyította, hogy a száraz évjáratokban az öntözés mind a hat tápanyagszinten szignifikánsan ($P<0,001$) növelte a kukorica termését, míg az átlagos csapadkellátottságú években megbízható öntözéshatást nem kaptunk.

Végül a nem öntözött és az öntözött változatban azonos műtrágya-hatóanyag alkalmazásával, négy év figyelembevételével, varianciaanalízissel (összevont értékelés) megvizsgáltuk a műtrágyázás, az öntözés és az évjárat hatását a kukorica termésére. Az SS értékek alapján megállapítottuk, hogy legjelentősebb hatása a műtrágyázásnak (1486,4), majd az évjáratnak (375,4), és ezt követően az öntözésnek (234,2) volt. A kölcsönhatások mindegyike szignifikáns

($P < 0,001$) különbséget mutatott. Közülük legjelentősebb az év x öntözés ($SS=433,9$) kölcsönhatás. Ezek az eredmények rámutatnak arra, hogy a termés ingadozásában nagyon jelentős a műtrágyázás és az öntözés hatása, melyet azonban az évjárat jelentősen módosíthat.

A száraz évjáratban (2003, 2007) a két év szignifikánsan ($P < 0,001$) különbözött egymástól. Az öntözés és a műtrágyázás 0,1%-os szignifikancia szint mellett megbízhatóan befolyásolta a SPAD-értéket. Jelentős az év x öntözés és az öntözés x NPK ($P < 0,001$) kölcsönhatás. A műtrágyázás hatása termésre évenként eltérő volt ($P < 0,01$).

Átlagos évjáratban (2004, 2006) a főhatások (év, öntözés, NPK) közül az öntözésnek nem volt hatása. Az év x öntözés kölcsönhatás 5%-os szignifikancia szinten szignifikáns, mivel az öntözés az egyik évben csökkentette a másik évben növelte a termést ($P < 0,001$). A műtrágyázás hatékonyságát az évjárat nagymértékben ($P < 0,001$) módosította. Az öntözés x NPK kölcsönhatás átlagos évjáratokban statisztikailag nem volt igazolható.

A **SPAD-érték és a kukorica termésadatának elemzés** során azt állapíthattuk meg, hogy a 6 leveles állapotban mért SPAD-érték és a termés között a nem öntözött változatban nincs, míg öntözött változatban ($r=0,260$) gyenge sztochasztikus kapcsolat van. A vegetációs idő előrehaladtával mind a nem öntözött, mind az öntözött változatban szorosabb összefüggés volt a két változó között. A korrelációs együttható értéke mindkét változatban pozitív, vagyis a SPAD-érték növekedésével a termés mennyisége nőtt. A statisztikai értékelés alapján a két változó közötti összefüggés lineáris függvénnyel írható le, amit az F-próba is 0,1%-os szignifikancia szint mellett igazolt. A determinációs együttható értékét figyelembe véve – négy év átlagában – megállapítottuk, hogy a termésmennyiség és az 50%-os nővirágzás állapotban mért SPAD-értékek között nem öntözött változatban közepes ($r=0,490$) és öntözött változatban közepesnél erősebb ($r=0,623$) kapcsolat volt.

Évenként is elvégeztük az elemzést. A száraz, kedvezőtlen 2003-as évben – nem öntözött változatban – a változók között (a SPAD-érték és a termés) 6 leveles állapotban nem tudunk szignifikáns kapcsolatot kimutatni. A 12 leveles állapotban és az 50%-os nővirágzás állapotában mért SPAD-érték és a termés korrelációs kapcsolat erőssége közepes volt. Öntözött változatban a kapcsolat erőssége szorosabb volt, mint nem öntözött változatban. A változók közötti kapcsolat jellemzésére legalkalmasabb a lineáris függvény ($P < 0,001$). Nem öntözött változatban a SPAD-érték 12 leveles állapotban 22,9%-os és virágzáskor 31,6%-os, öntözött változatban 45,7%-os determinációs együtthatónak bizonyult. Az átlagosan csapadékos 2004-ben a változók között a korrelációs kapcsolat erőssége 6 leveles állapotban a nem öntözött és az öntözött változatban is gyenge volt. A determinációs együttható értéke a nem öntözött változatban 12 leveles és 50%-os nővirágzás állapotban sokat erősödött. A SPAD-érték 2006-ban nem öntözött változatban – 6 leveles állapot – gyenge, míg öntözött változatban nincs kapcsolat a két változó között. Nem

öntözött változatban – a másik két mérési időpontban – a SPAD-érték és a termés közötti kapcsolat javult, erőssége viszont a közepesnél gyengébb volt. Öntözött változatban is a vegetációs idő előrehaladtával javult a sztochasztikus kapcsolat, azonban erőssége – a 2004 évhez hasonlóan – gyengébb volt, mint a nem öntözött változatban. A változók között szignifikáns kapcsolat ($P < 0,001$) volt.

Az aszályos 2007-es évben nem öntözött változatban a kukorica termése és a SPAD-érték között 6 és 12 leveles állapotban ($P < 0,01$), mind az 50%-os nővirágzás állapotban ($P < 0,001$) szignifikáns kapcsolat volt. Ennek erőssége mindhárom esetben gyenge volt, de az előző évekhez hasonlóan az 50%-os nővirágzáshoz közelítve a korrelációs kapcsolat erőssége javult. Öntözött változatban a 6 és 12 leveles állapotban mért SPAD-érték és a termés gyenge, míg az 50%-os nővirágzás állapotban szoros sztochasztikus kapcsolatban volt. 2007-ben – a 2003-as évhez hasonlóan – öntözött változatban minden mérési időpontban szorosabb összefüggést mutattunk ki, mint nem öntözött változatban, amit az F-próba ($P < 0,001$) szignifikancia szint is igazolt.

Megállapítottuk, hogy a korrelációs koefficiens előjele pozitív – nem öntözött és öntözött változatban egyaránt –, vagyis a SPAD-érték növekedésével párhuzamosan a kukorica termésmennyisége is nőtt. A független változó öntözött változatban, száraz években (2003, 2007) – mindhárom mérési időpontban – erősebb kapcsolatban volt a terméssel, mint nem öntözött változatban. Az átlagos csapadékellátottságú években (2004, 2006) az öntözés hatására csökkent a SPAD-érték és a termés összefüggésének szorossága.

Kutatási eredményeink jól alkalmazhatóak a gyakorlatban. Javaslatot teszünk a referencia terület és a környező területek átlagmérési után az ajánlott, az alap műtrágyán felüli, pótlólagos N-mennyiség kijuttatására.

Nem öntözött változatban, ha a relatív SPAD-érték 98% vagy ennél nagyobb, akkor elegendő az alap műtrágya-hatóanyagként kijuttatott 60 kg N/ha. Ha ettől jelentősen kisebb, akkor minden egyes hiányszázalékra 6 kg N/ha kijuttatását javasoljuk.

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 6 \text{ kg N / ha}$$

Ahol:

SPAD_{ref}: a referencia terület SPAD-értéke

SPAD_t: a műtrágyázandó táblán mért SPAD-érték

Öntözött változatban a számítás, hasonló a nem öntözött változathoz. Természetesen, itt az alpműtrágya-hatóanyag 90 kg N/ha. Minden egyes hiányszázalékra ebben a változatban 9 kg N/ha kijuttatását javasoljuk.

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 9 \text{ kg N / ha}$$

Ahol:

SPAD_{ref}: a referencia terület SPAD-értéke

SPAD_t: a műtrágyázandó táblán mért SPAD-érték

9. SUMMARY

During the research we wanted to know the impact of fertilisation, irrigation, crop year and the interactions of these three factors on the SPAD value and yield; their correlation and it was also our objective to find out whether the results we gained by the chlorophyll meter could be used in the maize fertilisation consultancy network.

Examinations were carried out between 2003–2007 within a multifactoral long-term field experiment established in 1984 on calcareous chernozem soil with loam texture at the Látókép experimental site of the University of Debrecen, Centre of Agricultural Sciences and Engineering.

The constant active ingredient proportion of NPK fertilizer doses was 1 N : 0.75 P₂O₅ : 0.88 K₂O. The basic nitrogen dose was 30 kg ha⁻¹. We used treatments of 1, 2, 3, 4 and 5 times the basic dose, plus a control treatment without fertilisation. Irrigation was applied by Valmon linear irrigation equipment. The population was 70,000 plants ha⁻¹.

The relative chlorophyll concentration of maize leaf was measured with a SPAD-502 portable chlorophyll meter and we evaluated the degree of nitrogen supply of maize during the growing season. Measurements were carried out for each N treatment and their irrigated and non-irrigated versions. The hybrids we used for the analysis were: Debreceni 377, DK 391, Mv 277 and Szegedi SC 352. Therefore, we started to carry out measurements every year at the six-leaf stage. Further measurements were implemented at the 12-leaf stage and 50% female flowering stage of maize. The number of days between sowing and harvesting varied during the years in the average of hybrids: it was 84 in 2003, 80 in 2004, 78 in 2006 and 71 in 2007, that can be brought into connection with the annual value of heat units. Grain yields were measured at harvest on the following dates: 18/09/2003, 27/10/2004, 16/10/2006 and 08/10/2007.

The correlation between the SPAD values of maize and the production factors, as well as yield and production factors was evaluated by a *general linear model* (GLM). The comparison of SPAD values and SPAD chlorophyll concentrations, as well as the mean values of yield was done using *Duncan's test*. We examined the correlation between N fertiliser and SPAD values and that of between N fertiliser and yield using a *logarithmic function*. We evaluated the correlation between SPAD values and yield by a *linear function*. Fitting the functions was done by regression analysis, the minimalisation of the residual sum of squares. The reliability of fitting the functions was indicated by the value of R and MSE. Evaluation was done by SPSS for Windows 13.0 statistical software package.

We analysed **the effect of fertilisation** in the *non-irrigated treatments* of the long-term field experiment in Debrecen annually. The results of the variance analysis show that fertilisation significantly ($P < 0,001$) increased SPAD values in all three measurement times. The correlation between year x NPK was significant on a level of 0.1%. This correlation indicates that the impact of fertilisation changed from crop year to crop year and that the impact of crop year is getting stronger when the time of 50% female flowering stage comes closer. The modifying effect of crop year increases until 12 leaf stage in years with average precipitation supply, whereas this effect decreases at the time of flowering. Using Duncan test at a 5% significance level, we justified that – in both dry and average years – 60 kg N ha⁻¹ fertiliser active ingredient was needed in 6 leaf stage within non-fertilised conditions, whereas this value was 120 kg N ha⁻¹ in 12 leaf stage and at 50% female flowering stage.

At all three measurement occasions, the lowest SPAD values were measured on plots that have not been fertilised since 1984. In these plots, as a result of nitrogen deficiency, there was little chlorophyll generated in leaves and yellow pigments (carotene and xanthophyll) were predominant. The highest SPAD value (60.3) was measured in 2004. The average SPAD values of fertilised parcels were significantly higher at 6 and 12 leaf stage in a droughty year (53.6 and 53.4, respectively), than in an average one (45.1 and 51.5, respectively). At the 50% female flowering stage, we measured a higher SPAD value (53.7) in the average crop year than that of the droughty one (49.9). The difference was significant ($P < 0.001$) in every case. Fertiliser effect was decreased the most by water shortage in 2007. In a dry year, the SPAD value increasing effect of fertilisation compared to that of the control treatment was smaller at 6 and 12 leaf stage, whereas it was higher at 50% female flowering stage than in an average year.

We examined the correlation between fertilisation and SPAD values by using regression analysis. In 2004, there was a close correlation between the two factors at 12 leaf stage ($r = 0.694$) and 50% female flowering stage ($r = 0.737$). The weakest correlation during the years examined was found in 2007 – the driest year.

The impact of fertilisation in *irrigated treatments* was also statistically proven ($P < 0.001$) in all four years and at all three measurement occasions.

The correlation between year x NPK was significant at a level of 0.1%, that is the impact of NPK on SPAD values changed from year to year. Similarly to the non-irrigated treatments, the SS value of the correlation between year x NPK in years with average precipitation supply was increasing until 12 leaf stage, then started to decrease. At 6 leaf stage, the fertiliser dose 30 kg N ha⁻¹ reliably increased SPAD value in comparison with the control treatment. The further increase of N is not justified. As for 12 leaf stage and 50% female flowering, only 120 kg ha⁻¹ N

active ingredient caused significant increase in the SPAD value in comparison with the control treatment. The effect of fertilisation was more significant in the irrigated version at the time of 50% female flowering, than it was in the non-irrigated version. The averages of fertiliser active ingredient treatments differed from each other both in years with dry and average precipitation supply at 6 leaf stage, whereas the two crop years were similar in the case of 12 leaf stage and 50% female flowering stage. Based on the result of regression analysis, we found that there is a significant correlation ($P < 0,001$) between the two factors at all three measurement occasions. In the case of measurement occasions taken at 50% female flowering stage, the closest correlation ($r = 0.728$) was gained in 2003. In all of the examined years, data of 50% female flowering showed closer correlation, than those gained at 6 and 12 leaf stage.

Irrigation affected the SPAD value of maize reliably with the exception of 6 leaf stage. Its level was $P < 0.001$ in the dry year, whereas this value was $P < 0.05$ in the year with average precipitation supply. Nevertheless, its quantified impact is lower than that of fertilisation. With the exception of 50% female flowering stage, irrigation decreased SPAD values in non-irrigated treatments and the extent of this decrease was significantly higher in years with average precipitation supply. The effect of irrigation was the highest in the droughty year of 2007 – at 50% female flowering stage. Conforming to Hungarian and foreign research projects, our research data also proved that irrigation decreases chlorophyll concentration and thereby the concentration of nitrogen as well. When examining and analysing the impact of irrigation on SPAD values, we found that irrigation reliably increased ($P < 0.01$) SPAD values in the dry year at 50% female flowering stage in the average of fertiliser active ingredient treatments, whereas in years with average precipitation supply it decreased them ($P < 0.05$) at all three measurement occasions. We examined the impact of irrigation at all three measurement occasions with the help of a t-test. We ran the test for each active ingredient treatment separately. We found that irrigation decreased the SPAD values of maize at every nutritive level in both crop years – with the exception of 50% female flowering, dry crop year.

The significant correlation between irrigation and fertiliser justified – at all three measurement occasions and in both crop years – that the impact of fertilisation on SPAD values was changing in accordance with irrigation.

SPAD values were the highest at 6 leaf stage *in non-irrigated treatments* in the dry year – in the average of fertiliser treatments – that decreased during the development. By the time of 50% female flowering, the amount of decrease was 3.7 SPAD units in 77 days. The biggest decrease in SPAD values was measured on the control plot in both dry years. Compared to the 6 leaf stage, the decrease of the leaf's SPAD values was 17.5 in 2003 and 9.8 in 2007.

In crop years of average precipitation supply (2004, 2006) – in the average of fertiliser treatments – the lowest SPAD values (44.7) were measured at 6 leaf stage. As the growing period progressed, SPAD values also increased by 6.3 at 12 leaf stage and a further 2.3 at 50% female flowering stage. The N concentration of the leaf became abundant by the time of 50% female flowering. The highest increase in SPAD values until the time of flowering was shown by the fertiliser active ingredient treatment 120 kg ha⁻¹. When examining the two years separately, we found that in the growing period of 2004, - in the average of fertiliser active ingredient treatments - SPAD values increased by a relatively smaller extent (2.4) than they did in 2006 (5.3). Nevertheless, among fertiliser active ingredient treatments, the increase of SPAD values was smoother in 2006 than in 2004.

In *irrigated treatments*, SPAD values – similarly to the non-irrigated version – decreased in every fertiliser active ingredient treatment by the 12 leaf stage in the dry year of 2007, in comparison with the 6 leaf stage. The biggest decrease (-2.4) could be measured in the case of 30 kg ha⁻¹ fertiliser active ingredient treatment. There were further decreases in SPAD values at 50% female flowering in non-fertilised (-7.7) and 30 kg ha⁻¹ fertiliser active ingredient treatments (-2.5). In years with average precipitation supply, SPAD values increased when the time of 50% female flowering was getting closer. The extent of increase was smaller at both measurement occasions than in the case of non-irrigated treatments. As the growing period was progressing in 2004, SPAD values decreased in non-fertilised and low (30 kg ha⁻¹) fertiliser active ingredient treatments, whereas we measured an increase in 2006 at every nutritive level. The biggest increase in SPAD values could be reached by 150 kg ha⁻¹ fertiliser active ingredient treatment by the time of 50% female flowering in both crop years.

In the average of fertiliser active ingredient treatments, irrigation significantly decreased SPAD values in the dry year of 2007 at 6 leaf stage, whereas we measured an increase at the time of flowering. In the crop year of average precipitation supply, irrigation decreased SPAD values at both measurement occasions, the biggest decrease could be observed at 12 leaf stage.

In the non-irrigated version, the biggest **effect of fertilisation** on maize **yield** was observed in 2004 (3.979 t ha⁻¹), whereas we observed the smallest effect in 2007 (1.454 t ha⁻¹). The lowest yield within the non-fertilised treatment was obtained in 2007 (3.476 t ha⁻¹), whereas the highest was reached in 2004 (5.844 t ha⁻¹). Fertilisation effect (P<0.001) can be considered to be similar in years with average precipitation supply (2004, 2006) and dry years (2003, 2007) (3.089 t ha⁻¹ and 3.167 t ha⁻¹, respectively), that is also justified by the SS value of variance analysis.

Based on the results of the Duncan test, we can state that – both in dry years and years with average precipitation supply – there was a reliable difference only among three nutrient

treatments (non-fertilised, 30 and 60 kg N ha⁻¹). Both in the average of the four examined years and in each year, 60 kg N ha⁻¹ fertiliser active ingredient was needed to achieve the maximum yield.

Due to a descriptive logarithmic function and the cumulated statistics analysis, the impact of fertilisation on yield in non-irrigated treatments is suitable for describing the relationship, but the correlation between variables is average ($r=0.547$). In the examined years – with the exception of 2007 – we found a close correlation between fertilisation and yield. The fitting error was around 1 t ha⁻¹ every year.

Our research results reliably showed that the effect of fertilisation in the *irrigated treatments* was higher (5.021 t ha⁻¹, $P<0.001$) in the average of four years than it was in the *non-irrigated version* (3.128 t ha⁻¹). In the average of treatments, the correlation between fertilisation and irrigation had the biggest impact in the dry year of 2007 (4.705 t ha⁻¹). In the dry year, the impact of fertilisation x irrigation was significantly higher (4.459 t ha⁻¹) than it was in the crop year with average precipitation supply (3.299 t ha⁻¹). As for the correlation between fertilisation and yield, the difference among the five nutritive levels in the dry year (non-fertilised, 30, 60, 90 and 120 kg N ha⁻¹) and the four levels in years with average precipitation supply (non-fertilised, 30, 60 and 90 kg N ha⁻¹) was also significant. The yearly fertiliser reaction of maize differed to a smaller extent in the irrigated version than it did in the non-irrigated one, and yield fluctuation decreased. Based on the value of the correlation coefficient ($r=0.764$), there is a close correlation between fertilisation and grain yield. The accuracy of estimation is better in the irrigated treatments than it is in the non-irrigated ones.

Irrigation reliably ($P<0.001$) increased yield in the average of four years and the treatments by 1.141 t ha⁻¹. Irrigation – similarly to the SPAD values measured at the 50% female flowering stage – increased grain yield results significantly ($P<0.001$) in dry years, whereas its yield increasing effect was not significant in years with average precipitation supply. The biggest irrigation-induced yield surplus in the average of fertiliser active ingredient treatments was obtained in 2007 (3.906 t ha⁻¹). With the help of the t-test – jointly examining dry years and years with average precipitation supply – , we analysed the correlation between irrigation and different nutritive levels, which proved that irrigation significantly ($P<0.001$) increased maize yield at all six nutritive levels in dry years, whereas we did not get reliable irrigation effect in years with average precipitation supply.

Finally, we examined the effect of fertilisation, irrigation and crop year on yield by variance analysis, using the same amount of fertiliser both in irrigated and non-irrigated treatments, considering all four years' data, by means of a variance analysis (cumulated evaluation) Based on

SS values, we concluded that fertilisation had the most significant effect (1486,4), followed by crop year (375.4) and irrigation (234.2). All interactions indicated a significant difference ($P < 0.001$). Among them, the most important interaction was year x irrigation ($SS = 433.9$). These results indicate that the impact of fertilisation and irrigation is very important in yield fluctuation, that can be significantly modified by crop year.

In dry crop years (2003, 2007), the two years significantly ($P < 0.001$) differed from each other. Irrigation and fertilisation reliably affected SPAD values at a significance level of 0.1%. The interactions of year x irrigation and irrigation x NPK ($P < 0.001$) are also significant. The impact of fertilisation on yield was different in each year ($P < 0.01$).

In average crop years (2003, 2007), irrigation did not have effect among the main impacts (year, irrigation, NPK). The interaction of year x irrigation is significant at a significance level of 5%, as irrigation reduced yield in one year and increased it in the other ($P < 0.001$). The efficiency of fertilisation was greatly modified by crop year ($P < 0.001$). The interaction of irrigation x NPK could not be statistically proven in average crop years.

During the analysis of SPAD values and the yield data of maize, we observed that there is no correlation between the SPAD values measured at the 6 leaf stage and yield in the non-irrigated version, whereas the correlation between the two in the irrigated one is a weak stochastic one ($r = 0.260$). As the vegetation period progressed, we found a closer correlation between the two variables both in the non-irrigated and the irrigated versions. The value of the correlation coefficient is positive in both cases, meaning that yield increased with the increase of SPAD value. Based on the statistical evaluation, the correlation between the two variables can be described by a linear function, also proven by the F-test at a significance level of 0.1%. Taking the value of coefficient of determination into consideration – as an average of four years – we concluded that there was an average ($r = 0.490$) correlation between yield and SPAD values measured at the 50% female flowering stage in the non-irrigated version, whereas this correlation was stronger than average ($r = 0.623$) in the irrigated one.

We conducted the analyses annually. We could not indicate any correlation between variables (SPAD values and yield) was average ($r = 0.735$) in the non-irrigated treatments during 2003 – a dry and unfavourable year – at the 6 leaf stage. The correlation between the SPAD values measured at the 12 leaf stage and the 50% female flowering stage and yield was an average one. There was a closer correlation in the irrigated version than in the non-irrigated one. Linear function ($P < 0.001$) is the most suitable for the description of the correlation between the variables. SPAD value proved to be a determination coefficient of 22.9% at the 12 leaf stage and 31.6% at flowering in the non-irrigated stage, whereas it was 45.7% in the irrigated one. In 2004

– an average, moist year –, the correlation between the variables at the 6 leaf stage was weak in both non-irrigated and irrigated versions. The value of determination coefficient increased a lot in non-irrigated version at the 12 leaf stage and the 50% female flowering stage. The scatter diagram of the correlation between the two variables at the time of 50% female flowering and the regression line fit to the points is shown in.

The correlation between SPAD values and yield was weak in 2006 in non-irrigated treatments at the 6 leaf stage, whereas there was no correlation between the two variables. In the non-irrigated version – at the other two measurement occasions – the correlation between SPAD values and yield increased, but it was weaker than average. As the vegetation period progressed in the irrigated version, the stochastic correlation improved, whereas – similarly to 2004 – it was weaker than the one observed in the non-irrigated version. There was a significant correlation ($P < 0.001$) between the variables.

There was a significant correlation between maize yield and SPAD values at 6 and 12 leaf stages ($P < 0.01$) and at the 50% female flowering stage ($P < 0.001$) in non-irrigated treatments in the droughty year of 2007. It was weak in all three cases, but – similarly to the previous years – the correlation was becoming stronger as the 50% female flowering stage got closer. In the irrigated version, the stochastic correlation between SPAD values measured at 6 and 12 leaf stages and yield was weak, whereas it was a close stochastic correlation between the two at the 50% female flowering stage. In 2007 – similarly to 2003 –, we found a closer correlation in the irrigated version at every measurement occasion, than we did in the non-irrigated one, that was also proven by F-test ($P < 0.001$).

We concluded that that the correlation coefficient is positive both in the irrigated and non-irrigated versions, meaning that maize yield increased with the increase of SPAD value. The independent variable was in a stronger correlation with yield in the irrigated version in dry years (2003, 2007) at all three measurement occasions, than it was in the non-irrigated one. As a result of irrigation, the closeness of the correlation between SPAD values and yield decreased in years with average precipitation supply (2004, 2006).

The final aim of the research is examine whether the results gained serve practical crop production in the form of a fertilisation consultancy method.

Our research results can be well applied in practice. Besides the recommended basic fertilisation, we advise to apply additional N fertiliser after the average measurements of the surrounding areas.

In the non-irrigated version: If the relative SPAD value is 98% or bigger, the basic fertiliser active ingredient applied (60 kg N ha⁻¹) is enough for the plot. If it is significantly lower than this, then we advise to apply an extra 6 kg N ha⁻¹ for each percentage of shortage. If the amount of additional fertiliser active ingredient exceeds 60 kg N ha⁻¹, we still do not advise to apply more than 60 kg N ha⁻¹. The calculation was done by the following formula.

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 6 \text{ kg N / ha}$$

Where:

SPAD_{ref}: SPAD value of the reference area

SPAD_t: SPAD value measured on the plot to be fertilised

In the irrigated version: Its calculation is similar to that of the non-irrigated version. As a matter of course, the basic fertiliser active ingredient is 90 kg N ha⁻¹. We advise to apply an extra 9 kg N ha⁻¹ for each percentage of shortage. If the amount of additional fertiliser active ingredient exceeds 60 kg N ha⁻¹, we still do not advise to apply more than 60 kg N ha⁻¹. The formula above is modified the following way:

$$100 \frac{SPAD_{ref} - SPAD_t}{SPAD_{ref}} * 9 \text{ kg N / ha}$$

Where:

SPAD_{ref}: SPAD value of the reference area

SPAD_t: SPAD value measured on the plot to be fertilised

10. IRODALOMJEGYZÉK

- Abramenko, A. N. (1982): Dejsztvie mineralnük udobrenij ozimüjo pšenice v zaviszmoszti kotogodnü uszlovij. Him. Szel. Hoz., Moszkva, 12: 12–14.
- Anda A. (1987): A kukorica néhány sugárzás-, hő- és vízháztartási komponensének alakulása a N ellátottság függvényében. Növénytermelés. 36. 3: 161–170.
- Anderson, F. L., Kamprath, F.J., Moll, R.H. (1985): Prolificacy and N-fertilizer effects on yield and N utilization in maize. Crop Sci. 25: 598–602.
- Antal E., Posza I., Tóth E. (1972): A kukorica öntözésének agrometeorológiai adatai. Időjárás. 5–6.
- Antal J. (1983): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Arregui, L. M., Lasa, B., Lafarga, A., Iraneta, I., Baroja, E., Quemada, M. (2006): Evaluation of chlorophyll meters as tools for N fertilization in winter wheat under humid Mediterranean conditions. European Journal of Agronomy. 24. 2: 140–148.
- Bauerle, W. L., Weston, D. J., Bowden, J. D., Dudley, J. B., Toler J. E. (2004): Leaf absorptance of photosynthetically active radiation in relation to chlorophyll meter estimates among woody plant species. Scientia Horticulturae. 101. 1–2: 169–178.
- Bennett, W.F., Pesck, J., Hanway, J. (1962): Effect of nitrogen on phosphorus absorption by corn. Agronomy Journal, Madison, 54: 437–442.
- Berényi D. (1945): A kukorica termelése és összefüggése az időjárással. Tiszántúli Mezőgazdasági Kamara, Debrecen, p. 212.
- Berényi D. (1958): Az állományklímát kialakító tényezők. MTA Agrártudományi Közlemények. 14: 155–193.
- Beringer, H., Nothdurft, F. (1985): Effects of potassium on plant and cellular structures. [In: Munson, R. D. (ed.) Potassium in agriculture]. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisc., USA, 351–368.
- Berzsenyi Z. (1988): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) növekedésének és növekedési jellemzőinek dinamikájára. Növénytermelés. 37. 6: 527–540.
- Berzsenyi Z. (1993): A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukoricahibridek (*Zea mays* L.) szemtermésére és N-műtrágyareakciójára tartamkísérletekben az 1970–1991. években. Növénytermelés. 42. 1: 49–63.
- Berzsenyi Z., Gyórfy B. (1996): A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 45. 3: 281–295.
- Berzsenyi Z., Gyórfy B. (1997): A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 45: 281–296.
- Berzsenyi Z., Lap D.Q. (2001): A kukorica N ellátottságának monitoringja SPAD-502 típusú klorofillmérővel. Martonvásár, 1: 7.
- Berzsenyi Z., Lap D.Q. (2003): N-műtrágyázás hatása a kukorica- (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és N-műtrágyareakciójára tartamkísérletben. Növénytermelés. 52. 3–4: 389–408.
- Blanchet, R. (1973): Plante-soil-climat 'at irrigation. Etudes realisees par la Station d' Agronomie de Toulouse, 20–122.
- Bocz E. (1976): Trágyázási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 257.
- Bocz E. (1992): Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 887.
- Bocz E., Nagy J. (1981): A kukorica víz- és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. Növénytermelés. 30. 6: 539–549.
- Boyer, J.S. (1968): Relationship of water potential to growth of leaves. Plant Physiol., 43: 1053–62.
- Bullock, D.G., Anderson, D. S. (1998): Evaluation of the Minolta SPAD-502 chlorophyll meter for nitrogen management in corn. Journal of plant nutrition, 21. 4: 741–755.
- Buzás I. (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

- Carter, G. A. (1994): Ratios of leaf reflectances in narrow wavebands as indicators of plant stress. *International Journal of Remote Sensing*. 15. 3: 697–703.
- Carter, T.R., Porter, J.H., Parry, M.L. (1991): Climatic warming and crop potential in Europe. *Global Environmental Change*. 1: 291–312.
- Chang, S. X., Robinson, D. J. (2003): Nondestructive and rapid estimation of hardwood foliar nitrogen status using the SPAD-502 chlorophyll meter. *Forest Ecology and Management*. 181. 3: 331–338.
- Chapman, S.C., Barreto, H.J. (1997): Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agronomy Journal*. 89. 2: 557–562.
- Chubachi, T., Asano, I., Oikawa, T. (1986): The diagnosis of nitrogen nutrition of rice plants (Sasanishiki) using chlorophyll meter. *Japanese Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 57. 2: 190–193.
- Claassen, M.M., Shaw, R.H. (1970): Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal*. Madison, 62: 652–655.
- Cvet, M. (1906): Physikalisch-chemische Studien über das Chlorophyll. Die Adsorptionen. *Ber. Deutsch. Botan. Gesellschaft*. 25. 316–324.
- Csajbók J., Kutasy E. (2002): A kukorica fotoszintetikus aktivitása Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés Nemzetközi Konferencia, Debrecen, I. kötet 302-308.
- Csathó P. (1994): A magyarországi talajok NPK mérlegei 1990-ben és 1991-ben. *Növénytermelés*, 43: 551–561.
- Csathó P. (1997): Összefüggés a talaj K-ellátottsága és a kukorica, őszi búza és lucerna K-hatások között a hazai szabadföldi kísérletekben, 1960–1990. *Agrokémia és Talajtan*. 46: 327–345.
- Csathó P. (2003): Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan*. 52: 169–184.
- Csathó P. (2004): A hazai agrokémiai iskolák kutatói által beállított NPK trágyázási szabadföldi kísérletek adatbázisának értékelése. Kézirat, MTA TAKI.
- Csathó P., Árendás T., Németh T. (2000): A talaj tápanyag-ellátottságának és a kukorica gazdaságos műtrágyaigényének kapcsolata. *Agrofórum*. 11. 4: 15-20.
- Csathó P., Kádár I., Sarkadi I. (1989): A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 38: 69–76.
- Cselőtei L. (1957): A meteorológia szerepe az öntözés megalapozásában. *MTA Agrártudományi Közlemények*. 26: 155–164.
- Cselőtei L. (1978): Új irányok és feladatok a növények vízellátásában. *MTA Agrártudományi Közlemények*. 37: 45–47.
- Cserháti S., Kosutány T. (1887): A trágyázás alapelvei. *Orsz. Gazd. Egy. Könyvkiadó Váll. Budapest*, p. 438.
- Csirkov, I.I. (1979): *Agrometeorologija. Gidrometeoizdat, Leningrad*.
- Debreczeni B., Debreczeni B.-né (1983): A tápanyag- és a vízellátás kapcsolata. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, p. 267.
- Debreczeni B.-né (1989): Az őszi búza és a kukorica fejlődéskori N-felvételének tanulmányozása. *Akadémiai doktori értekezés tézisei, Keszthely*.
- Derco, M. (1979): Kukorica öntözött körülmények között. *Praha*, 27. 7: 295–296.
- Dezső J. (1966): A mélyművelés hatása a kukoricára Debrecen környéki mezőszégi talajokon. *Egyetemi doktori értekezés, Gödöllő*.
- Duncan, W.G., Hesketh, J.D. (1968): Net photosynthetic rates, relative leaf growth rates and leaf numbers of 22 races of maize grown at eight temperatures. *Crop Sciences*. 8: 670–674.
- Earl, J.H., Davis, F.R. (2003): Effect of Drought Stress on Leaf and Whole Canopy Radiation Use Efficiency and Yield of Maize. *Agron.J.*, 95.3:688–696.
- Elek É., Kádár I. (1980): Állókultúrák és szántóföldi növények mintafelvételi módszere. *MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest*, p.41.

- Engelmann TW. (1882): Über Sauerstoffausscheidung von Pflanzenzellen im Mikrospectrum. Bot Zeit 40: 419–426.
- Evans, J. R. (1989). Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C3 plants. Oecologia. 78. 1: 9–19.
- Evans, J.T. (1983): Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.)- Plant Physiol. 72: 297–302.
- Feibo, W., Lianghuan, W., Fuhua, X. (1998): Chlorophyll meter to predict nitrogen sidedress requirements for short-season cotton (*Gossypium hirsutum* L.). Field Crops Research. 56. 3: 309–14.
- Feil, B., Garibay, S.V., Ammon, H.U., Stamp, P. (1997): Maize production in a grass mulch system – seasonal patterns of indicators of the nitrogen status of maize. European Journal of Agronomy. 7: 171–179.
- Fischer, H. (1930): Nóbeldíj a hemoglobin kémiai szerkezetének felfedezéséért. <http://www.physics.hu/historia/willstatter.html>
- Flóderer S. (1910): A talajerő meghatározását célzó eljárásokról. Kísérletügyi Közlemények, 13: 623.
- Fox, R.H., Piekielek, W.P., Macneal, K.M. (1994): Using a chlorophyll meter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 25. 3–4: 171–181.
- Füleky Gy., Debreczeni B. (1991): Tápelem-felhalmozódások 17 éves kukorica munokultúra talajában. Arokémia és Talajtan. 40. 1–2. 119–130.
- Grafe (1914): Ernährungsphysiologisches Practicum höherer Pflanzen. Paul Parey Verlag, Berlin. Cit.: Wilsie, C.P. (1969): A termesztett növények alkalmazkodása és elterjedése a Földön. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Greenwood, D.J., Cleaver, T.J., Turner, M.K., Hunt, J., Niendorf, K.B., Loquens, S.M. H. (1980): Comparison of the effects of phosphate fertilizer on the yield: phosphate content and quality of 22 different vegetable and agricultural crops. Journal of Agr. Science. 95: 457–469.
- Győrffy B. (1976): A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. Agrártudományi Közlemények. 35: 239–266.
- Győrffy B., Berzsenyi Z. (1994): Növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére tartamkísérletben. [In: Debreczeni B., Debreczeni K. (szerk.) Trágyázási kutatások 1960–1990.]. Akadémiai Kiadó, Budapest, 311–312.
- Győrffy B., Pó I., Bölöni I. (1965): Kukoricatermesztés. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 411.
- Győri D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Győri Z., Sipos P. (2005): Kukoricahibridek minőségének változása agrotechnikai kísérletekben. [In: Nagy J. (szerk.) Kukorica hibridek adaptációs képessége és terméshozama]. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen, 101–114.
- Harmati I. (1987): Tápanyagellátás. [In: Barabás Z. (szerk.) A búzatermesztés kézikönyve]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 351–365.
- Helyes L. (2005): Az öntözés szerepe, jelentősége. Gazdálkodás. XLIX. 5: 63–69.
- Helyes L., Ligetvári F., Dimény I. (2004): Irrigation water management transfer in countries with transition economy. Hungarian Country Report. International Workshop Kiev Proceeding, 25.
- Hikosaka, K., Terashima, I. (1996): Nitrogen partitioning among photosynthetic components and its consequence in sun and shade plants. Functional Ecology. 10. 3: 335–343.
- Huber, D.M., Arny, D.C. (1985): Interactions of potassium with plant disease. [In: Munson, R.D. (ed.) Potassium in agriculture]. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisc., USA, 467–488.
- Huzsvai L. (2001): Tartamkísérletek kiértékelése új szemszögből. Debreceni Egyetem, Agrártudományi Közlemények, Debrecen, II. kötet, 55–60.

- Huzsvai L. (2004): Statisztika és számítógépes adatfeldolgozás SPSS alkalmazások. Debreceni Egyetem, Agrártudományi Centrum, Debrecen, (kézirat) p. 108.
- Id. Várallyay Gy. (1950): A műtrágyázást irányító kísérletek és vizsgálatok. *Agrokémia*, 2: 287–302.
- Izsáki Z. (2006): Az N- és P-ellátottság hatása a kukoricaszem (*Zea mays* L.) fehérjetartalmára és aminosav összetételére. *Növénytermelés*, 55. 3–4: 213–230.
- Janaki, P., Thiyagarajan, T. M. (2004): Effect of SPAD techniques and planting density on 'y' leaf nitrogen concentration in transplanted rice. *Acta Agronomica Hungarica*. 52. 1: 95–104.
- Johnston, A.E., Lane, P.W., Mattingly, G.E., Poulton, P.R. (1986): Effect of soil and fertilizer P on yields of potatoes, sugarbeet, barley and winter wheat on a sandy clay loam soil at Saxmundham, Suffolk. *Journal of Agr. Science. Cambridge*, 106: 155–167.
- Jongschaap, R. E. E., Booij, R. (2004): Spectral measurements at different spatial scales in potato: relating leaf, plant and canopy nitrogen status. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 5. 3: 205–218.
- Justes, E., Jeuffroy, M.H., Mary, B., (1997): Wheat, barley, and durum wheat. [In: Lemaire, G. (Ed.) *Diagnosis of the Nitrogen Status in Crops*]. Springer-Verlag, Berlin, pp. 73–91.
- Kádár I. (1979): Földművelésünk nitrogén, foszfor és kálium mérlege. *Agrokémia és Talajtan*. 28. 527–544.
- Kádár I. (1987): Földművelésünk ásványi tápanyagforgalmáról. *Növénytermelés*, 36: 517–526.
- Kádár I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. MTA TAKI, Budapest, p. 398.
- Kádár I. (1993): Vegyszeres gyomirtás. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest.
- Kádár I. (2000): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) elemfelvételére meszes csernozjom talajon. II. *Növénytermelés*. 49: 127–139.
- Kádár I., Szilágyi T. (1980): A kukorica optimális evapotraszspirációja – Az éghajlati vízhiány és a terméseredmények alakulása. *Beszámolók az 1978-ban végzett tudományos kutatásokról*. OMSZ, Budapest, 156–166.
- Kadlicskó B., Krisztián J. (1989): Az őszi búza és a kukorica NP trágyázásának tapasztalatai barna erdőtalajokon. *Növénytermelés*, 38. 4: 325–333.
- Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P. (2004): Lehetőségek a trágyázás hatékonyságának növelésére környezetbarát módon a főbb szántóföldi kultúráknál. *Agronapló*. 8: 6.
- Káposzta J. (1974): Az őszi és tavaszi szántás, valamint a direkt vetés hatása a kukoricatermesztésben. *Talajtermékenység*, 5: 19–32.
- Kovács G.J. (1982): A kukorica víz- és tápanyag-dinamikájának kritikus ökofizikai kapcsolata. *Növénytermelés*. 31. 4: 355–365.
- Kramer, P. I. (1963): Water stress and plant growth. *Agron. J. Madison*, 55: 31–35.
- Kreybig L. (1955): *Trágyázástan*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Krisztián J., Kadlicskó B., Holló S. (1989): A káliumtrágya hasznosulása észak-magyarországi csernozjom barna és agyagbemosódásos barna erdőtalajon. *Agrokémia és Talajtan*. 38: 89–91.
- Láng I. (1963): A kálium körforgalma a talaj-növény rendszerben. *Agrokémia és talajtan*, 12: 175–188.
- Láng I. (2005): Klímaváltozás és várható hatásai. „Agro-21” Füzetek. 41: 3–6.
- Latkovics Gy-né (1963): A kukorica trágyázása és tápanyagfelvétele. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.* 12: 423-429.
- Lawlor, D.W. (1994): Relation between carbon and nitrogen assimilation, tissue composition and whole plant function. [In: Rooy, J., Garnier, E. (eds.) *A Whole Plant Perspective on Carbon nitrogen Interactions*]. The Hague. SPB Academic, 47–60.
- Lelkes J. (2003): Öntözni csak precíziós módszerekkel érdemes. *Mezőföldi Agrofórum Kft., Szekszárd, Agrofórum*. 14. 7: 6–8.
- Lemaire, G., Jeuffroy M. H., Gastal, F. (2008): Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage: Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*. 28. 4: 614–624.

- Loch J. (1970): Összefüggések a talaj magnéziumtartalma és a növények által felvett magnézium között. Kandidátusi értekezés, Debrecen.
- Loch J. (1992): Agrokémia. [In: Loch J., Nosticzius Á. (szerk.) Agrokémia és növényvédelmi kémia]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 15–210.
- Loch J. (1999): A környezetkímélő tápanyag-gazdálkodás elvei. [In: Füleky Gy. (szerk.) Tápanyag-gazdálkodás]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 228–230.
- Loch J., Jászberényi I. (1987): Effect of fertilization and irrigation on the change of nitrate-N content of soil profile. In: Protection of water Quality from Harmful Emissions. Proc. 5th. Int. Symposium of CIEC, 1–4 September, 1987, Balatonfüred, Hungary.
- Loch J., Nosticzius Á. (1983): Alkalmazott kémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Lopez-Bellido, R.J., Shepherd C.E., Barraclough, P.B. (2004): Predicting post-anthesis N requirements of bread wheat with a Minolta SPAD meter. *European Journal of Agronomy*. 20. 3: 313–320.
- Marquard, R.D., Tipton, J.L. (1987): Relationship between chlorophyll and an in situ method to estimate leaf greenness. *HortScience*, 22. 6: 1327.
- Marton L., Kádár I. (1999): N-műtrágyázás hatása a szója levelének klorofill- és karotinoid-tartalmára, valamint hozamára. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 3–4: 381–387.
- Menyhért Z. (1985): A kukoricatermesztés kézikönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 559.
- Mitscherlich, E.A. (1952): *Zeitschrift für Acker Pflbau*. Berlin-Hamburg.
- Monteith, J.L. (1981): Does light limit crop production? [In: Johnson, C.E. (ed.) *Physiological processes limiting plant productivity*]. Butterworths, London, 23–37.
- Montemurro, F., Maiorana, M., Ferri, D., Convertini, G. (2006): Nitrogen indicators, uptake and utilization efficiency in a maize and barley rotation cropped at different levels and sources of N fertilization. *Field Crops Research*. 99. 2–3: 114–124.
- Nagy J. (1978): Az optimális víz- és tápanyagellátás hatása a borsó és kukorica növények növekedésére, fejlődésére és termésmennyiségére. Egyetemi doktori értekezés, Debrecen.
- Nagy J. (1986): Effect of fertilization on the water of grain in maize hybrids. *Acta Agronomica Hungarica*. 35. 1–2: 145–150.
- Nagy J. (1993): Evaluation on the effect of crop production factors on the yield of maize in long-term experiments. Rothamsted 150th Anniversary Conference. Rothamsted, 136–137.
- Nagy J. (1995): A kukoricahibridek műtrágya és öntözővíz reakciója. *Agrofórum*. 5: 56–62.
- Nagy J. (1996): Az öntözés és a talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45: 389–398.
- Nagy J. (1997): A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéssel termesztésben. *Agrokémia és Talajtan*. 46. 1–4: 275–288.
- Nagy J. (1998): A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukoricahibridek termésére I. *Növénytermelés*. 37. 4: 327–336.
- Nagy J. (2005): 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában [In: Nagy J. (szerk.) *Kukorica hibridek adaptációs képessége és termésbiztonsága*]. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen, 8–53.
- Nagy J. (2006): A vízellátás hatása a korai (FAO 300-399) éréscsoportba tartozó kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésére öntözés nélküli termesztésben. *Növénytermelés*. 55. 1–2: 103–112.
- Nagy J. (2007a): *Kukoricatermesztés*. Akadémiai Kiadó, Budapest, p. 393.
- Nagy J. (2007b): Evaluating the effect of year and fertilisation on the yield of mid ripening (FAO 400–499) maize hybrids. *Cereal Research Communications*. 35. 3: 1497–1507.
- Nagy J., Rátonyi T., Megyes A., Huzsvai L. (2006): A termesztési tényezők hatása a csernozjom talaj fizikai állapotára kukorica tartamkísérletben. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum, Debrecen.
- Németh T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA TAKI, Budapest, p. 382.

- Németh T. (2000): Past, present and future status of N-fertilization policies in Hungary. In: Soil quality, sustainable agriculture and environmental security in Central and Eastern Europe. [In: Wilson, M.J., Maliszewska-Kordybach, B. (Eds.) NATO Science Series]. Kluwer Academic Publ., Dordrecht, Netherlands, 69: 243–252.
- Németh T., Kádár I. (1999): Nitrát bemosódásának vizsgálata és nitrogénmérlegek alakulása egy műtrágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 48: 377–386.
- Németh T., Kovács G., Kádár I. (1987–88): A nitrát, a szulfát és a vízoldható sók bemosódásának vizsgálata műtrágyázási tartamkísérletben. *Agrokémia és talajtan*. 36–37. 110–126.
- Niinemets, U., Tenhunen, J. D. (1997): A model separating leaf structural and physiological effects on carbon gain along light gradients for the shade-tolerant species *Acer saccharum*. *Plant, Cell and Environment*. 20. 7: 845–866.
- Nyíri L. (1997) Az aszálykárok mérséklése. *Mezőgazda Kiadó*, Budapest, p.156.
- Oroszlány I. (1965): *Vízgazdálkodás a mezőgazdaságban*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Pakurár M. (2000): A talajművelés, a műtrágyázás, a növényszám és a főbb környezeti tényezők hatása a kukorica termésére és egyéb paramétereire.
- Pakurár M., Szélesné P. G., Piskolczi M., Nagy J. (2003): A kukorica (*Zea mays* L.) színének változása öntözés hatására eltérő tápanyagszinteken. [In: Marton L. Cs., Árendás T. (szerk.) 50 éves a magyar hibrid kukorica]. Martonvásár, 247–252.
- Peng, S., Garcia, F.V., Laza, R.C., Cassman, K.G. (1993): Adjustment for specific leaf weight improves chlorophyll meter's estimation of rice leaf nitrogen concentration. *Agronomy Journal*. 85. 5: 987–990.
- Petrasovits I. (1967): Az öntözővízigény megállapításainak problémái. *Hidrológiai Közlemények*. 47. 10: 456–461.
- Petrasovits I. (1969): Új gyakorlati módszer az öntözött szántóföldi növényállományok evapotranszpirációjának számításához. *Öntözéses gazdálkodás*. 7. 1: 3–17.
- Petrasovits I. (1988): *Az agrohidrologia főbb kérdései*. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Piekielek, W.P., Fox, R.H. (1992): Use of chlorophyll meter to predict sidedress nitrogen requirements for maize. *Agronomy Journal*. 84: 59–65.
- Piekielek, W.P., Fox, R.H., Toth, J.D., Macneal, K.E. (1995): Use of a chlorophyll meter at the early dent stage of corn to evaluate nitrogen sufficiency. *Agronomy Journal*. 87. 3: 403–408.
- Pinkard, E. A., Patel, V., Mohammed, C. (2006): Chlorophyll and nitrogen determination for plantation-grown *Eucalyptus nitens* and *E. globulus* using a non-destructive meter. *Forest Ecology and Management*. 223. 1–3: 211–217.
- Porter, P. M., Crookston, R.K., Ford, J. H., Huggins, D. R., Lueschen, W.E. (1997): Interrupting yield depression in monoculture corn: Comparative effectiveness of grasses and dicots. *Agron J.*, 89: 247–250.
- Posza I., Stollár A. (1983): A tényleges párolgáshoz használt növénykonstansok értékei több évi mérés alapján. *Időjárás*. 88: 170–177.
- Précsényi I. (1980): *Produkciobiológia*. [In: Hortobágyi T. (szerk.) *Agrobotanika*]. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 517–526.
- Prokszáné Paplogó Zs., Széll E., Kovácsné Komlós M. (1995): A N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és néhány beltartalmi mutatójára eltérő évjáratokban réti öntéstalajon. *Növénytermelés*, 44. 1: 33–42.
- Rajcan, I., Dwyer, L. M., Tollenaar, M. (1999): Note on relationship between leaf soluble carbohydrate and chlorophyll concentrations in maize during leaf senescence. *Field Crops Research*. 63. 1: 13–17.
- Reeves, D.W., Mask, P.L., Wood, C.W., Delaney, D.P. (1993): Determination of wheat nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter: influence of management practices. *Journal of Plant Nutrition*. 16. 5: 781–796.

- Ritter, W.F., Beer, C.E. (1969): Yield reduction by controlled flooding of corn. *Trans. ASAE*. 12: 46–50.
- Ruzsányi L. (1981): Az öntözés szükségessége és az öntözővíz hasznosulása a főbb szántóföldi növénykultúráknál. *Növénytermesztési Szimpózium, Debrecen*, 2: 7–9.
- Ruzsányi L. (1991): A növények elővetemény-hatásának értékelése vízháztartási szempontokból. *Növénytermelés*. 40. 1: 71–78.
- Ruzsányi L. (1992): Főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. *Akadémiai doktori értekezés, Debrecen*.
- Ruzsányi L., Pepó P., Sárvári M. (1994): Evaluation of major agrotechnical factors in sustainable crop production. *Agrokémia és talajtan*. 43: 335–343.
- Sarkadi J. (1991): Szerves- és műtrágyák hatása a búza és kukorica termésére. *Agrokémia és Talajtan*. 40: 87-95.
- Sarkadi J., Bánó T. (1962): A szerves és műtrágyák hatása a kukorica termésére. [In: I'só I. (szerk.) *Kukoricatermesztési kísérletek 1958–1960.*] *Akadémiai Kiadó, Budapest*, 131–137.
- Sarkadi, J. 1963: Trágyázási kísérletek fontosabb eredményei. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.*, 22: 411–421.
- Sárvári M (1995): A kukoricahibridek termőképessége és trágyareakciója réti talajon. *Növénytermelés*, 44. 2: 179–191.
- Sárvári M. (1986): A vetésváltás, tápanyagellátás hatása a búza kukorica termésére. *Kandidátusi értekezés, Debrecen*.
- Sárvári M. (1995): Monokultúrás termesztés hatása a kukorica termésére réti talajon, műtrágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 44. 4: 359–373.
- Scharf, P. C. and Lory, J. A. (2002): Calibrating Corn Color from Aerial Photographs to Predict Sidedress Nitrogen Need. *Agronomy Journal*. 94. 3: 397–404.
- Schepers J.S., Francis D.D., Vigil M., Below F.E. (1992): Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Soil Sci. Plant Anal.* 23. 17–20: 2173–2187.
- Sharp, R.E., Wu, Y., Voetberg, G.S., Saab, I.N., LeNoble, M.E. (1994): Confirmation that abscisic acid accumulation is required for maize primary root elongation at low water potentials. *J. Exp. Bot.*, 45: 1644–1651.
- Shaw, R. H. (1977): Climatic requirement. [In: Sprague, G. F. (ed.) *Corn and corn improvement*]. *Amer. Soc. Agron. Inc. Publisher. Madison, Wisc.*, p. 774.
- Sipos G. (1978): Trágyázás. [In: Lőrincz J. (szerk.) *Földműveléstan*]. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Stefanovits P. (1975): *Talajtan*. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, p. 351.
- Stefanovits P. (1977): *Talajvédelem, környezetvédelem*. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*, p. 243.
- Surányi J. (1957): *A kukorica és termesztése*. *Akadémia Kiadó, Budapest*.
- Sváb J. (1981): *Biometriai módszerek a kutatásban*. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest*.
- Szalka É. (1996): Az NP-műtrágyázás hatása a kukorica szemtermésére Duna öntéstalajon, *Növénytermelés*. 45: 553–560.
- Szalóki S. (1988): Az öntözéses gazdálkodás újabb kutatási eredményei. *Tudományok. ÖKI, Szarvas*.
- Szász G. (1963): Különböző termesztett növényeink állományainak evapotranszpirációs vízvesztése. *Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei*. Debrecen, 157–174.
- Szász G. (1970): A debreceni löszhát talajának hóforgalma. *Időjárás*. 74.
- Szász G. (1971): A természetes csapadékviszonyokra épülő növénytermesztés agrometeorológiai kérdései Magyarországon. *MTA X. Osztály Közleményei*. 2–4: 187–198.
- Szász G. (1972): A talajfelszín közelében képződő csapadékmennyiség meghatározása. *Időjárás*. 76: 208–222.
- Szász G. (1973): A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata. *Növénytermelés*. 22: 245–258.

- Szász G. (1988): Agrometeorológia – általános és speciális. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Széll E. (1994): A kukorica vetőmagtermesztés hibridspecifikus technológiájának kidolgozását szolgáló agrotechnikai kísérletek rendszere. Kandidátusi értekezés, Szeged.
- Szirtes V. (1971): A foszfor műtrágyázás hatása a kukorica tápanyagfelvételére. Növénytermelés. 437–442.
- Szlovák S. (1972): A különböző korú kukoricánövények transzspirációs intenzitásának napi menete. Öntözéses Gazdálkodás. Szarvas, 2: 43–52.
- Szóke Molnár L. (1977): Az öntözéses kukoricatermelés gazdaságossági kérdései. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Szűcs M. (1986): A nitrogén migrációja nyugat-dunántúli és kistalaj talajokban. Kandidátusi értekezés, Mosonmagyaróvár.
- Turner, F.T., Jund, M.F. (1991): Chlorophyll meter to predict nitrogen topdress requirement for semi-dwarf rice. Agronomy Journal. 83. 5: 926–928.
- Várallyay Gy. (1985): Magyarország talajainak vízháztartási és anyagforgalmi típusai. Agrokémia és Talajtan. 34: 267–298.
- Várallyay Gy. (1987): A talaj vízgazdálkodása. Akadémiai doktori értekezés, Budapest.
- Várallyay Gy., Németh T. (1996): A fenntartható mezőgazdaság talajtani-agrokémiai alapjai. MTA Agrártudományok Osztályának tájékoztatója, Akadémiai Kiadó, Budapest, 80–92.
- Varga-Haszonits Z. (1987): Agrometeorológiai információk és hasznosításuk. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Varga-Haszonits Z., Varga Z., Lantos Zs., Enzsölné Gelencsér E. (2006): Az éghajlati változékonyság és az agroökoszisztémák. Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Mosonmagyaróvár, p. 406.
- Weber, E. J. (1985): Role of potassium in oil metabolism. [In: Munson, R. D. (ed.) Potassium in agriculture]. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisc., USA, 425–442.
- Willstatter, R. (1915): Nóbeldíj a klorofill kémiai szerkezetének leírásáért. <http://www.vitaminklub.hu/ismertetek.php?ism=klorofill.php>
- Wu, J., Wang, D., Rosen, C. J., Bauer, M. E. (2007): Comparison of petiole nitrate concentrations, SPAD chlorophyll readings, and QuickBird satellite imagery in detecting nitrogen status of potato canopies. Field Crops Research. 101. 1: 96–103.
- Yadava, U. L. (1986): A rapid and nondestructive method to determine chlorophyll in intact leaves. HortScience. 21. 6: 1449–14450.
- Yoder, B. J., Pettigrew-Crosby, R. E. (1995): Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400-2500 nm) at leaf and canopy scales. Remote Sensing of Environment. 53. 3: 199–211.
- Zsigari Gy. (1994): A különböző adagú, tartós műtrágyázás hatása csernozjom talajra. Doktori értekezés, Gödöllő.
- Zsigrai Gy. (1997): A növények tápanyagellátása. [In: Nyiri L. (szerk.) Az aszálykárok mérséklése]. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p.156.

NYILATKOZATOK
(az értekezés utolsó lapján)

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Mezőgazdaságtudományi Karán a Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem el a Debreceni Egyetem AMTC MTK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2008.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogydoktorjelölt 200..... - 200..... között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal – irányításunkkal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom – javasoljuk.

Debrecen, 2008

a témavezető(k) aláírása