

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**NITROGÉN STABILIZÁTOR ÉS LOMBTRÁGYA KEZELÉSEK
HATÁSAINAK VIZSGÁLATA KUKORICÁBAN (ZEA MAYS L.)**

Gila-Rácz Dalma Emese
doktorjelölt

Témavezető:
Prof. Dr. Kakuszi-Széles Adrienn



DEBRECENI EGYETEM

**Kerpely Kálmán Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok
Doktori Iskola**

Debrecen, 2023

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉS

A szántóföldi növények a szélsőséges időjárási körülményeknek való fokozottabb kitettségük miatt az általános kondíció javítását célzó vizsgálatok között nagy hangsúlyt kapnak a tápanyagellátással, valamint a kijuttatott tápanyagok hasznosításának növelésével kapcsolatos kutatások, ugyanis a növények megfelelő kondícióját elsősorban optimális és kielégítő tápanyagutánpótlással tudjuk biztosítani és javítani (Kundu és mtsai. 2022). A N műtrágyák szerepe ma már alapvető, alkalmazásuk a növénytermesztésben régtől fogva bevett rendszeres agrotechnikai gyakorlat szerte a világon, azonban számos kutatás hívta fel arra a figyelmet, hogy a különféle N eredetű veszteségek következtében a N műtrágyák hasznosulása nem kielégítő (Omara et al., 2019, Dimpka et al., 2020). A N-eredetű veszteségek jelentős része a nitrátionok kimosódásának következménye (Zhang et al., 2017), amely azon túl, hogy esetlenként hirtelen, nagy mennyiségű N veszteséget eredményez a talajban, a felszín alatti vizek szennyezésével környezeti és humánegészségügyi problémákhoz is vezet (Dimpka et al., 2020). A N veszteségek csökkentésére irányuló törekvések éppen ezért mindinkább sürgető feladat a mezőgazdaság számára. A N veszteség problémájára megoldást ígérnek a nitrifikációs inhibitorok, melyek az ammónia-oxidáló baktériumok nitrifikációjának lassításával késleltetik az ammóniumionok nitrit, majd nitrátionokká történő átalakulását, így csökkentik a nitrátion talajvíz irányába történő kimosódását, ezáltal pedig növelik a N műtrágyázás hatékonyságát (Zhong-Qing et al., 2020). A nitrifikációs inhibitorok közül a nitrapyrin az elmúlt 40 évben Amerikában és Kínában a leginkább alkalmazott hatóanyag (Keerthisinghe et al., 1993), azonban hazánkban csak a közelmúltban vált elérhetővé, így az alkalmazásával kapcsolatos tapasztalatok, szakirodalmak és kutatások mennyisége korlátozott.

A N műtrágyázás hatékonyság növelése mellett egyre nagyobb teret nyer a lombtrágyázás, mint a növények kondícióját javító, a tápanyagellátást kiegészítő technológia, melyet eleinte a kertészeti kultúrákban, hiánybetegségek kezelése céljából alkalmaztak (Fernández és Eichert, 2009), azonban a termések növelése iránti egyre nagyobb igény, a hidrometeorológiai tényezők szélsősége, a hőstressz, a talajok kedvezőtlen adottságai és csekély mikroelem tartalma következtében napjainkban a szántóföldi növények körében való használata is elterjedt az általános kondíció megőrzése, javítása céljából (Brankov et al., 2020).

A várható klimatikus tendenciák alapján a globális éghajlatváltozás hatására a növénytermesztésben a legnagyobb nehézséget a talajok szegényes tápanyag-szolgáltató képessége, illetve a mobilis tápelemek jelentős kimosódása révén a tápanyagok hatékony

felvétele, hasznosítása okozza, ezzel a növények hiánybetegségeit és kondícióromlását eredményezve (Nagy et al., 2011). Így, a N hasznosítást növelő nitrapyrin, valamint az egyéb tápelemek hasznosítását segítő lombtrágyás kezelések hatásainak vizsgálata napjainkban meghatározó alapját képezik az agrárkutatásoknak. A kukorica sokirányú hasznosíthatóságának köszönhetően termesztése nem csak Magyarországon, hanem világviszonylatban is meghatározó gazdasági jelentőséggel bír (Ranum et al., 2014), ezért a kukoricában végzett vizsgálatok eredményei rendkívül jól hasznosíthatóak. Kutatómunkámhoz célul tűztem ki a nitrapyrin, illetve lombtrágya kezelések hatásainak tanulmányozását a kukorica fiziológiai, illetve a termés mennyiségi és beltartalmi paramétereinek vizsgálatain keresztül. Mivel a nitrapyrin hazai alkalmazásával kapcsolatos eredményeket bemutató átfogó tanulmány még nem született, illetve a jövőben egyre indokoltabb lesz a lombtrágya kezelések általános mezőgazdasági gyakorlatba való bevonása, kutatómunkám ezen jövőbeni stratégiákban rejlő potenciál alaposabb megismerésére szolgálhat.

Kutatómunkám során célkitűzéseim a nitrapyrin hatóanyagtartalmú nitrifikációs inhibitor hazai területeken történő alkalmazása és növényfiziológiai hatásainak vizsgálata, a nitrapyrin-kezelés optimális időzítésének meghatározása, valamint a kukorica specifikus kórokozóival szembeni ellenállóképesség, a kukorica abiotikus stresszválaszok fiziológiai jellemzésén és a kukorica általános, fiziológiai állapotával összefüggő paraméterek vizsgálatán keresztül a nitrapyrin és lombtrágya kezelések együttes hatásainak vizsgálata.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

Szabadföldi kísérleteinket párhuzamosan több helyszínen állítottuk be. A kísérleti helyszínek pontos adatait az *1. táblázat* mutatja. A szabadföldi kísérletek csoportosítását a vizsgálatok célkitűzése szerint a *2. táblázat* mutatja.

1. táblázat: A szabadföldi kísérletek helyszínei

Kísérlet		
AG-19	Év:	2019
	Helyszín:	Agrárgazdaság Kft. (Debrecen-Józsa)
HD-19	Év:	2019
	Helyszín:	Hajdúhadházi Bocskai Mg. Kft. (Bocskaikert)
BK-20	Év:	2020
	Helyszín:	Debreceni Egyetem MÉK Bemutatókert (Debrecen)
KF-20	Év:	2020
	Helyszín:	Kurucz Farm Kft. (Ebes)
AG-21	Év:	2021
	Helyszín:	Agrárgazdaság Kft. (Debrecen)
BK-21	Év:	2021
	Helyszín:	Debreceni Egyetem MÉK Bemutatókert (Debrecen)
KF-21	Év:	2021
	Helyszín:	Kurucz Farm Kft. (Debrecen)

A betűkből és számokból álló kódok a terület tulajdonában álló vállalat nevének a rövidítését (betűk) és a kísérlet beállításának évszámának rövidítését (számok) jelölik.

2. táblázat: A szabadföldi kísérletek csoportosítása a vizsgálatok célkitűzése szerint

Célkitűzések	Kísérletek
1. Nitrápyrin és lombtrágya kezelések együttes hatásának vizsgálata	AG-19, BK-20, KF-20, AG-21, BK-21, KF-21
– Specifikus kórokozókkal szembeni ellenállóság vizsgálata	BK-20
– Abiotikus stresszválaszok fiziológiai jellemzése	BK-21
2. A nitrápyrin-kezelés optimális időzítésének meghatározása	BK-20, BK-21
3. A nitrápyrin hatékonyságának vizsgálata homoktalajon	HD-19

2.1. A használt nitrápyrin készítmény és kijuttatása

A kísérleteink során alkalmazott nitrogén stabilizátor készítmény (nitrápyrin, N Lock, Corteva Agriscience, Wilmington, USA) kijuttatása a gyártó által ajánlott dózisban (1,7 l/ha; 300 l/ha vízmennyiség) történt. A vetés előtt kipermetezett hatóanyagot azonnal a talaj 6-8 cm-es rétegébe is bedolgoztuk, míg a vetést követő, állományban történő permetezését az időjárási

előrejelzésekre alapozva időzítettük, azaz a kipermetezést követően csapadéokra számítottunk. A BEMK-20 és BEMK-21 kísérletekben nitrapiyin kezelések a vetést követően is történtek, ahol 2020-ban a kijuttatást követő két héten belül 45 mm (OMSZ, 2020), míg 2021-ben a pár órán belül érkező 4 mm, illetve két héten belül további 12 mm csapadék segítette a hatóanyag talajba jutását (OMSZ, 2021).

2.2. A használt lombtrágya készítmény és kijuttatása

A kísérletekben felhasznált lombtrágya készítmény (Zsendítő, Hed-Land Hungária Kft.) tápelem összetételét az 3. táblázat mutatja. A kezelést igyekeztünk a reggeli-délelőtti napszakokban, erős napsütéstől mentes, borús időben időzíteni, illetve a kipermetezett tápanyagok hatékony abszorpciójának érdekében a levéltrágyázást csak az elegendő lombozattal rendelkező kukoricában végeztük (min. 8 leveles fejlettségi állapot). A kezelést a gyártó által ajánlott dózisban és lémenyiséggel juttattuk ki.

3. táblázat: A kísérletek során alkalmazott lombtrágya készítmények

Tápanyagok	Lombtrágya (g ha ⁻¹)
Összes nitrogén (N) ^a	800
Foszfor-pentoxid (P ₂ O ₅)	700
Kálium-oxid (K ₂ O)	700
Kén-trioxid (SO ₃)	700
Bór (B) ^b	1,27
Réz (Cu) ^b	1,62
Vas (Fe) ^b	2,84
Mangán (Mn) ^b	2,65
Cink (Zn) ^b	0,38

^a — urea nitrogén; ^b — EDTA fémion-kelát komplex

2.3. A talaj nitráttartalmának meghatározása

A nitrapiyin kezelés hatékonyságát a kezelt és kezeletlen talaj 0-30 cm-es mélységében mérhető nitrát-tartalmának meghatározásán keresztül követtük nyomon, amelyek összehasonlítása közvetett információkat szolgáltat a nitrifikációs tevékenységről is. A talajmintákat a terület heterogenitásának figyelembevételével, „W” alakot követve, véletlenszerűen vettük. A talajmintavételezést az időjárási körülményekhez alkalmazkodva igyekeztünk 2-3 hetente végezni. A talajmintákat a nitrapiyinnel nem kezelt (Kt: kontroll, Lt: lombtrágyával kezelt), valamint a nitrapiyinnel kezelt (Np: nitrapiyinnel kezelt, Np + Lt: nitrapiyinnel és lombtrágyával együttesen kezelt) területekből vettük. Ez azzal magyarázható,

hogy a lombtrágyás kezelés önmagában nem befolyásolja jelentősen a talaj nitrát-tartalmának változását, ugyanis a levélfelületről lecsöpögő, illetve a talajfelszínre közvetlenül jutó és a talajba csordogáló folyadék mennyisége elhanyagolható. A nitrát-tartalom meghatározását szelektív nitrátelektrodával (Nitrat 2000, Stelzner, Németország), a gyártó által javasolt lépések szerint végeztük.

2.4. A relatív klorofilltartalom meghatározása

A kukorica levelek relatív klorofill tartalmának meghatározását minden esetben a lombtrágyázást követő, min. egy héttel végeztük annak érdekében, hogy a kijuttatott tápanyagok a mérés idejére hasznosuljanak. A méréseket a kukorica csöközeli, kifejlett levelén végeztük, levelenként pedig 5 mérés átlagát vettük alapul (kezelésenként 20 db növény). A mérésekhez SPAD-502 Plusz készüléket (Konica Minolta, Japan) használtunk.

2.5. A gyökértömeg és a szárvastagság meghatározása

Mivel a lombtrágya kezelés nem befolyásolja a növények gyökérnövekedését, a gyökérmintákat a nitrapyrinnel nem kezelt (Kt, Lt), valamint a nitrapyrinnel kezelt (Np, Np+Lt) állományokból vettük. A gyökerek különböző méretükből adódó torzító hatást a talaj felszínétől számított 30 cm³, egységnyi talajtérfogatú, véletlenszerűen kiválasztott, kezelésenként 10 db növény gyökértömegét vettünk alapul. A mintavételt követően a gyökereket a talajmaradványoktól megtisztítottuk, majd tömegállandóságig 60 °C-on szárítószekrényben szárítottuk és az így kapott tiszta és száraz gyökérminták súlyát mértük. A biomassza gyarapodás mutatójaként a szárvastagságot is meghatároztuk, melyhez tolómérőt alkalmaztunk. A növények szár átmérőjét a gyökérminták és nitrát-tartalom meghatározáshoz hasonlóan a nitrapyrinnel nem kezelt (Kt, Lt) és a nitrapyrinnel kezelt (Np, Np + Lt) állományokban mértük. A mérések során egységesen a talajfelszíntől számított alsó három nódusz feletti szár átmérőjét mértük meg, majd ezek átlagát vettük alapul (kezelésenként 20 db., véletlenszerűen kiválasztott növény).

2.7. A termés mennyiségi és beltartalmi paramétereinek meghatározása

A termés mennyiségi vizsgálatainak során az ezermagtömeg, a kukoricacső hossza és átmérője is meghatározásra kerültek a csuhélevelek eltávolítását követően (kezelésenként 20 db., véletlenszerűen kiválasztott növény). A kukoricacső átmérőjét a mérőszalaggal mért

kukoricacső hosszának felénél, tolómérő segítségével határoztuk meg.

A termés beltartalmi paramétereinek meghatározásához egy mérés során kezelésként 20 db kukoricacsőről származó szemtermés 500 g tömegű homogén keverékét vizsgáltuk. A szemfehérje, olaj és keményítő tartalmát az Infratech 1241 Grain Analyzer (FOSS, Hilleroed, Dánia) műszer segítségével mértük.

2.8. A kukorica mesterséges fertőzése

A kukorica kórokozókkal szembeni ellenállóság vizsgálatához a kukoricacső *Aspergillus flavus* NVK 20 (NCAIM F.00048) és *Fusarium verticillioides* MRC 826 (NCAIM F.00935) penészgombák tiszta tenyészeivel történő mesterséges fertőzését végeztük el. Az inokulumok elkészítéséhez a törzseket burgonya dextróz agar (PDA) táptalajra (Beever és Bollard, 1970; Merck Millipore, Németország) oltottuk le, majd leoltást követően a tenyészeteket 7 napon át inkubáltuk 25 °C-on (*F. verticillioides*), illetve 37 °C-on (*A. flavus*) (CLN 240 laboratóriumi inkubátor, Pol-Eko-Apparatura, Lengyelország). A frissen tenyésztett telepekről a konídiumokat steril vízben szuszpendáltuk, majd steril Miracloth szöveten (Merck Millipore, Németország) keresztül szűrtük. A spóraszuszpenziók sejtszámát hematocitóméterrel (Bürker-kamra) határoztuk meg. A csőfuzáriózist okozó *F. verticillioides* patogénnel 2020. július 31-én, a kukorica címerhányásakor, míg az *A. flavus* gombával az intenzív rovarkártételek időszakában, augusztus 18-án fertőztük meg a kukoricacsöveket. A fertőzéseket kizárólag egészséges, tünetmentes csöveken végeztük. A fertőzések során mindkét kórokozó esetében steril fecskendőt használva (Chirana T. Injecta, Szlovákia) 1 ml spóraszuszpenziót (5×10^6 spóraszám) injektáltunk a cső csúcsi részén keresztül a bajuszcsonnába. Mivel mindkét kórokozó potenciális kockázatot jelent az emberi egészségre és a környezetre, a mesterséges fertőzést rendkívül körültekintően és elővigyázatosan, jól illeszkedő, N95 arcmaszk, védőszemüveg, védőruházat és kesztyű viselésével végeztük. Mindkét fertőzéshez steril tűket használtunk. A fertőzött kukoricacsöveket ezután 7 napig vízálló műanyag zacskóval fedtük le, ezzel a gombás fertőzés számára kedvező, a cső körül kialakuló páras mikroklímát teremtve. A 7. napot követően a műanyag zacskókat papírtasakokra cseréltük, melyeket csak a kukorica betakarításakor, 2020. szeptember 15-én vettünk le (Zuber et al., 1978). A fertőzés mértékét az egyes kezelések függvényében százalékban (%) értékeltük, amelyet a kukoricacsövön lévő, szemmel látható fertőzés jeleit mutató szemek számából határoztunk meg.

2.9. A levélszövetek fiziológiai vizsgálata

A levélszövetek fiziológiai vizsgálataihoz a kukorica teljesen kifejlett, fiatal leveleit használtuk fel. A levélszövetek tápelemtartalmának meghatározásához a levélmintákat a lombtrágya kezelést követően, míg a többi paraméter meghatározásához a kukorica R1 (virágzás kezdete) fenofázisában vettük. A mintavételezés során a friss szövetmintákat folyékony nitrogén segítségével azonnal lefagyasztottuk, majd további felhasználásig -70 °C-on tároltuk.

A levelek mintavételezése az **elemtartalom** meghatározások esetében mindig a lombtrágyakezelések után 1-1,5 héttel végeztük, ezzel biztosítva, hogy a kijuttatott tápanyagok a mintavételezés időpontjára hasznosuljanak. A mintavételezés a levéllemez egészéből történt. A levélminták elemtartalmának meghatározását a HL-LAB Környezetvédelmi és Talajvizsgáló Laboratóriuma (Debrecen) végezte.

A levélminták **klorofill a**, **klorofill b**, illetve **karotinoid** tartalmainak mennyiségi meghatározását Moran és Porath (1980) eljárása alapján végeztük. A mérésekhez a kukorica teljesen kifejlett, fiatal leveleiből származó friss szövetmintákat a feldolgozásig folyékony nitrogénben tároltuk, majd a minták 50 mg tömegű részleteit oldottunk fel 5 ml N,N-dimetilformamidban (4°C, 72 óra). Az így kapott kivonatok abszorbanciáját spektrofotometriásan határoztuk meg 470 nm, 647 nm és 664 nm hullámhosszon (Nicolet Evolution 300 UV-vis spektrométer; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) Az eredmények analízisekor Wellburn (1990) módszertanát követtük.

A **szuperoxid-dizmutáz (SOD)** aktivitását Giannopolitis és Ries (1977), illetve Beyer és Fridovich (1987) módszereit adaptálva határoztuk meg. A szövetminták 400 mg tömegű részleteit 4 ml NaPO₄-pufferben (50 mM, pH 7,8) homogenizáltuk, amely összetételében továbbá 1 mM fenilmetánszulfonil-fluoridot (PMSF), 0,1 mM EDTA-t és 1 w/v% polivinil-pirrolidont (PVP) is tartalmazott. Centrifugálást (10000 g, 4 °C, 15 perc) követően a felülúszókból származó kivonatok SOD aktivitását 70 µM nitroblue tetrazolium (NBT) eloxidálása révén spektrofotometriásan követtük nyomon 560 nm hullámhosszon mértük (Nicolet Evolution 300 UV-Vis Spektrométer).

A **prolin** meghatározásához a szövetmintákat folyékony nitrogénben morzsoltuk, majd azok 300 mg tömegű részleteit 600 µl etanolban (70 v/v%) homogenizáltuk (Hummel et al., 2010). Centrifugálást (10000 g, 4 °C, 15 perc) követően a felülúszó 500 µl-ét 500 µl ninhidrin oldattal (1 w/v%; 60 w/v% ecetsavban), és 500 µl 20 v/v% etanollal elegyítettük. A reakcióelegyeket 95 °C-on inkubáltuk (20 perc), majd az abszorbancia értékeket centrifugálást

követően (12000 g, 4 °C, 1 perc) 520 nm hullámhosszon detektáltuk (Nicolet Evolution 300 UV-Vis spektrométer). A prolintartalmakat standard görbe segítségével határoztuk meg (Carillo és Gibon 2011).

A **malondialdehid** meghatározásához a szövetmintákat folyékony nitrogénben morzsoltuk, majd azok 100 mg tömegű részleteit 0,25 w/v% tiobarbitursav (TBA) és 10 w/v % triklór-ecetsav (TCA) 1 ml térfogatú elegyében homogenizáltuk. Centrifugálást (10000 g, 4 °C, 15 perc) követően 200 µl felülúszóhoz 800 µl reagenst mértünk, melynek összetétele 0,5 w/v % TBA és 20 w/v % TCA volt. A reakcióelegyeket rázóinkubátorba (Thermo-Shaker, Bioshan TS-100) helyeztük (95 °C, 30 perc), majd ezt követően jégágyon hűtöttük. Az MDA tartalom meghatározásához a minták abszorbanciáját 532 nm és 600 nm hullámhosszon detektáltuk (Heath és Packer 1968).

2.10. A talajinkubációs kísérlet leírása

A nitrapyrin kezelés hatékonyságát különböző hőmérsékletű talajminták nitráttartalom változásán keresztül, laboratóriumi körülmények között is nyomon követtük. A talaj tulajdonságok különbözőségéből adódóan a torzító hatások kiküszöbölése érdekében a talajmintákat azonos helyről, a DE MÉK Bemutatókertjéből vettük, majd 200 g talajmennyiségeket helyeztünk el 300 ml-es műanyagedényekben, amelyek mintákhoz a nitrifikációs tevékenység aktivizálása érdekében 12 mg ammónium-szulfátot, majd a talajminták egy részéhez 1 ml nitrapyrin oldatot (300 mg ml⁻¹) adtunk (Powell és Prosser, 1986). Ezt követően a mintákat 10, 15, 20 és 25 °C hőmérsékleten inkubáltuk 3 héten keresztül (CLN 240 laboratóriumi inkubátor, Pol-Eko-Apparatura, Lengyelország) úgy, hogy azok nedvességtartalmát igyekeztünk 55-65%-os szinten tartani. A talaj nitráttartalmat hetente egyszer (kezelésenként 3 edényt), nitrátion-szelektív elektróda segítségével (Nitrat 2000, Stelzner, Németország) határoztuk meg a gyártó által ajánlott lépéseknek megfelelően.

2.11. Statisztikai vizsgálatok

A statisztikai elemzéseket az R programnyelv (v4.1.1; R Core Team 2021) és az „agricolae” R csomag (v1.3-5; De Mendiburu 2021) használatával végeztük. A mintaátlagok összehasonlítására Student-féle *t*-próbát, valamint Duncan-féle többszörös tartományteszttel kiegészített egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) végeztünk 5%-os szignifikanciaszinten ($p < 0,05$).

3. EREDMÉNYEK

3.1. A talaj nitrát-tartalmának mérési eredményei a kísérleti években

A nitrapyrin hatékonyságának vizsgálatához a talaj nitrát-tartalmának változását is nyomon követtük. A kezelés a kísérleti évek mindegyikében jelentős különbséget eredményezett a talaj nitráttartalmában a kezeletlen talajhoz képest, amely azért lényeges információ, mert a nitrapyrinnel kezelt és kezeletlen talajok nitráttartalma közötti differencia nagysága és a differencia időtartama utalhat a nitrapyrin hatásmechanizmusára. A nitrapyrin kezelés hatására mérhető alacsonyabb vagy magasabb nitráttartalom is alátámaszthatja a nitrapyrin hatékonyságát, ugyanis a nitráttartalom mennyiségi alakulását a kezelés hatására több tényező befolyásolhatja, mint pl. a nitrifikáló baktériumok aktivitása, a csapadékhozam, a talaj szervesanyag tartalma, a talaj fizikai félesége és a talaj hőmérséklete. Fontos azonban hangsúlyozni, hogy a talaj nitráttartalma a mintavétel időpontjában csak a talaj aktuális állapotát mutatja és nem vonható le belőle egyértelmű következtetés a nitrapyrin hatékonyságát illetően, valamint a nitrapyrin növényekre gyakorolt kedvezőbb nitrogén ellátottságát sem igazolja, ezért a nitrapyrin kedvező hatásainak megbizonyosodása érdekében mindenképpen a növények fiziológiai állapotát felmérő egyéb paraméterek alakulását is szükséges figyelembe venni.

3.4. A relatív klorofill tartalom mérési eredményei a kísérleti években

A nitrapyrin és lombtrágya kezelések hatékonyságát a kukorica levelek relatív klorofill tartalmának mérésén keresztül is nyomon követtük, melynek eredményeit a 9. táblázat mutatja.

7. táblázat: A relatív klorofill tartalom változása a kezelések függvényében

Év	Kísérletek	Kt	Np	Lt	Np+Lt	Np ⁺
2019	AG-19	55,93 ± 5,07 ^a	61,35 ± 3,52 ^b	62,62 ± 3,07 ^{bc}	64,52 ± 3,34 ^c	-
	HD-19	47,14 ± 11,29 ^a	72,74 ± 16,51 ^b	-	-	-
2020	BK-20	42,19 ± 3,35 ^a	48,19 ± 3,78 ^b	41,79 ± 4,31 ^a	52,63 ± 5,40 ^b	53,72 ± 3,28 ^c
	KF-20	61,91 ± 3,66 ^a	63,41 ± 4,17 ^a	62,71 ± 2,63 ^a	66,97 ± 4,98 ^b	-
2021	AG-21	47,21 ± 4,35 ^a	51,03 ± 3,96 ^b	46,91 ± 4,94 ^a	48,75 ± 2,13 ^{ab}	-
	BK-21	41,38 ± 3,71 ^a	49,59 ± 3,81 ^b	39,81 ± 3,85 ^a	48,69 ± 3,98 ^b	45,99 ± 5,05 ^{ab}
	KF-21	47,97 ± 3,63 ^a	51,07 ± 4,29 ^b	49,89 ± 4,12 ^{ab}	55,22 ± 3,49 ^c	-

A táblázat kezelésenként 20 független levélminta SPAD-értékének átlagát és szórását tartalmazza. A különböző kisbetűk (a, b, c) a kezelések közötti szignifikáns eltérést jelölik egy adott kísérletben (egytényezős ANOVA és Duncan-féle post hoc teszt; *p*

<0,05). Kt: kezeletlen; Np: nitrapyrin (vetés előtt); Lt: lombtrágya; Np + Lt: nitrapyrin (vetés előtt) + lombtrágya; Np⁺: nitrapyrin (vetés után).

Az eredményeket összegezve elmondható, hogy a nitrapyrin kezelés következtében a kísérletek mindegyikében növekedett a növények relatív klorofilltartalma, amely arra enged következtetni, hogy a kezelt területek növényei több nitrogénhez jutottak, amely ellátottság a klorofilltartalom mennyiségével szoros korrelációt mutat. A nitrapyrin kezeléssel ellentétben az önmagában lombtrágyával történő kezelés nem növelte jelentősebb mértékben a relatív klorofilltartalmat, azonban a nitrapyrin hatékonysága a lombtrágyával történő kiegészítéssel már több esetben is további jelentős növekedést eredményezett. Mindez feltehetően a nitrapyrin következtében kialakuló kedvezőbb nitrogénellátottság és a nitrogént is tartalmazó lombtrágya együttes kezeléséből adódó, a növények jelentősen jobb nitrogénellátottságával magyarázható. Következtetésképpen elmondható, hogy a levélszövetek nagyobb relatív klorofill tartalmát elsősorban a nitrapyrint tartalmazó kezelések eredményezik, mely értékei a lombtrágyás kezeléssel való kiegészítés hatására adott esetben további jelentős növekedést eredményezett. Ez minden bizonnyal a nitrapyrin és a N-t is tartalmazó lombtrágya együttes kezeléséből adódó, a növény számára még kedvezőbb N-ellátottsági körülményekkel magyarázható.

3.5. A gyökértömeg és szárvastagság mérési eredményei a kísérleti években

Annak érdekében, hogy a nitrapyrin hatását a kukorica biomassza produkciójára megvizsgáljuk, a kezeletlen (Kt) és nitrapyrinnel kezelt (Np) állományok gyökértömegét és szárvastagságát is meghatároztuk, melynek eredményei a 10. táblázatban látható.

8. táblázat: A gyökértömeg és szárvastagság változása a nitrapyrin kezelés következtében

Év	Kísérlet	Gyökértömeg (g)			Szárvastagság (mm)		
		Kt	Np	Np ⁺	Kt	Np	Np ⁺
2019	AG-19	20,14 ± 7,64 ^a	27,91 ± 8,61 ^b	-	23,71 ± 2,41 ^a	27,19 ± 2,51 ^b	-
	HD-19	23,58 ± 6,08 ^a	31,02 ± 7,18 ^b	-	19,56 ± 1,40 ^a	23,18 ± 1,38 ^b	-
2020	KF-20	33,80 ± 8,53 ^a	39,10 ± 6,98 ^a	-	25,99 ± 2,22 ^a	27,76 ± 1,18 ^b	-
	BK-20	14,72 ± 5,63 ^a	28,06 ± 6,68 ^b	45,30 ± 8,13 ^c	17,65 ± 1,39 ^a	20,67 ± 1,18 ^b	23,27 ± 1,22 ^c
2021	AG-21	25,67 ± 3,06 ^a	32,39 ± 4,53 ^b	-	19,91 ± 1,30 ^a	22,47 ± 1,57 ^b	-
	BK-21	11,85 ± 2,26 ^a	21,67 ± 2,10 ^b	18,94 ± 1,83 ^b	17,87 ± 1,54 ^a	21,43 ± 1,20 ^b	21,16 ± 0,63 ^b
	KF-21	31,80 ± 3,70 ^a	39,60 ± 2,70 ^b	-	17,47 ± 2,28 ^a	23,60 ± 1,24 ^b	-

A táblázat kezelésként 20 független mérés átlagát és szórását tartalmazza. A különböző kisbetűk (a, b, c) a kezelések közötti szignifikáns eltérést jelölik egy adott kísérletben (egytényezős ANOVA és Duncan-féle post hoc teszt; $p < 0,05$). Kt: kezeletlen; Np: nitrapyrin (vetés előtt); Np⁺: nitrapyrin (vetés után).

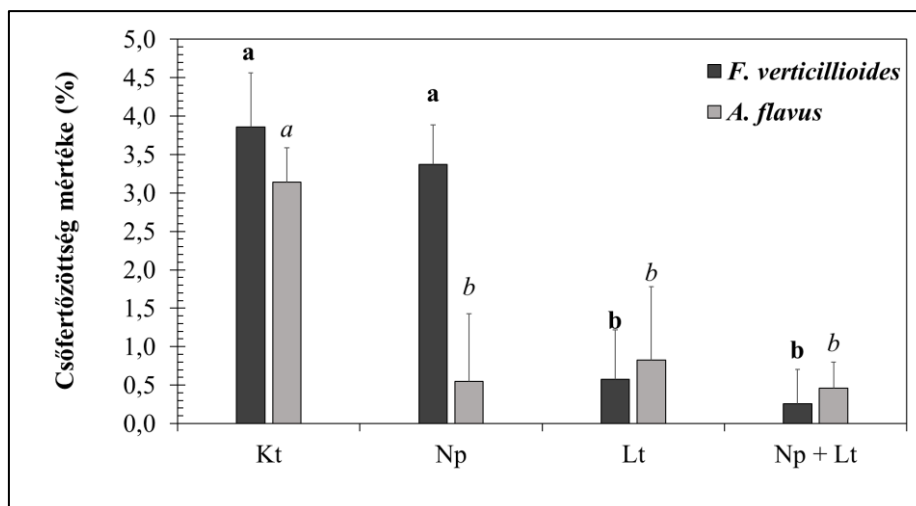
Tekintve, hogy a lombtrágya kezelés célja elsősorban nem a növények biomassza növelése, az ezt mutató paramétereket csak a nitrapyrin hatékonyságának igazolásául vizsgáltuk. Eredményeink alapján a nitrapyrin kezelés következtében növekedett a növények gyökértömege és szárvastagsága a kezeletlen növényekéhez képest, azaz, a nitrapyrin jelentős mértékben hozzájárult a növények számára felvehető nitrogén formák hosszú távú biztosításához.

3.6. A termés mennyiségi és beltartalmi paramétereinek mérési eredményei a kísérleti években

A *csőhossz*, *csővastagság* és *ezerszemtömeg* vizsgálatok a kezeletlen állományokhoz képest mind az önmagában nitrapyrinnel, mind a csak lombtrágyával és ezek együttesével kezelt növények esetében is jelentős javulást tapasztaltunk, azonban ezen kezelések hatékonysága között már nem jelentkezett minden esetben egyértelmű differencia. Elmondható, hogy ezen paraméterek kedvező változását elsősorban a nitrapyrin kezelés eredményezte, azonban a kezelés lombtrágyával történő kiegészítés adott esetben további jelentős növekedést eredményezett. Ez szintén a nitrapyrin kezelés hatására a talajban kialakuló kedvezőbb nitrogén ellátottsági körülményekkel, ezen keresztül pedig a növények javuló nitrogén felvételével magyarázható. A *termés fehérje*-, *olaj*- és *keményítőtartalma* esetében csak kismértékű változásokat tapasztaltunk a kezelések hatására, azonban észrevehető, hogy a fehérjetartalom növekedését leginkább a nitrapyrinnel kezelt állományok eredményezték, mely hasonlóan a kedvezőbb nitrogénellátottsággal magyarázható, amely a fehérjeépítés nélkülözhetetlen ásványi anyaga.

3.7. A mesterséges fertőzés eredményei

A kukorica specifikus kórokozóival (*Aspergillus flavus*: Af; *Fusarium verticillioides*: Fv) történő mesterséges fertőzéssel szembeni tolerancia változását a nitrapyrin (Np), lombtrágya (Lt) és kombinált kezelések (Np + Lt) függvényében is nyomon követtük. A fertőzések mértékét az egyes kezelések hatására a 7. ábra szemlélteti.



7. ábra: Az *A. flavus* és *F. verticillioidea* patogének által okozott csőfertőzöttség mértéke az egyes kezelések függvényében.

A táblázat kezelésenként 10 független mérés átlagát és szórását tartalmazza. A különböző kisbetűk (a, b) a kezelések közötti szignifikáns eltérést jelölik (egytényezős ANOVA és Duncan-féle post hoc teszt; $p < 0,05$). Kt: kezeletlen; Np: nitrapyrin (vetés előtt); Lt: lombtrágya; Np + Lt: nitrapyrin (vetés előtt) + lombtrágya.

Megállapítottuk, hogy a két kórokozóval történő mesterséges csőfertőzést követően a látható tünetek megjelenését leginkább a kezeletlen állományokban, míg legkevésbé a kombinált kezelésű kukoricában tapasztaltuk. Így, a kukorica gombafertőzéssel szembeni legnagyobb toleranciáját a nitrapyrin és lombtrágya kezeléseknek köszönhetően a tápanyagokkal leginkább ellátott állományban érték el.

3.8. A kukoricalevelek elemtartalmának eredményei a kísérleti években

A levélanalízis eredményei alapján a legtöbb kísérletben a kezelések hatására sem sikerült jelentős mértékben növelni a kritikus szint alatti tápelemek mennyiségét, azonban a HD-19 kísérletben az állomány nitrogén ellátottságában jelentős javulását sikerült elérni a nitrapyrin kezeléssel. Mindez azért is fontos, mert a területen homoktalaj volt, amely arra enged következtetni, hogy a laza szerkezetű, szervesanyagban szegényes talajokban a tápanyagellátást kiegészítő, segítő kezelések nagyobb hatékonysággal alkalmazhatók. Eredményeinkből szintén szembetűnik, hogy a hiánybetegségek leggyakrabban 2021-ben léptek fel, ugyanis minden kísérleti helyszínen a nitrogén, foszfor, kálium és kén hiányállapotát állapítottuk meg. Ezen eredmények az évjárat kedvezőtlen hidrometeorológiai adataival magyarázhatóak, hiszen a kukorica fejlődésének, tápanyagfelvételének intenzív időszakában nem érkezett megfelelő mennyiségű csapadék, így oldószer hiányában a növények nem tudták a tápanyagokat megfelelő mennyiségben hasznosítani. A levélanalízis eredménye ezen felül a rejtett

hiánybetegségek fontosságára is felhívja a figyelmet, ugyanis a legtöbb tápanyag alacsony mennyiségére utaló tünetek hiányában a hiánybetegségek időben történő felismerése is nehézkes. A kukorica fiziológiai szempontból a nitrogén mellett a magnézium és cink ellátottságára mutat nagyobb fokú érzékenységet. Eredményeink alapján a magnézium és cink hiányállapota is gyakorta fordult elő, amelyek mennyisége a lombtrágyás kezelés következtében sem növekedett jelentős mértékben. Erre egy lehetséges magyarázatunk, hogy a kijuttatott lombtrágya tápelem összetétele általános volt, amely cinket csak alacsony mennyiségben, magnéziumot pedig egyáltalán nem tartalmazott. Következésképpen azt nem tudni, hogy a cink és magnézium ellátottság milyen mértékben növekedett volna, ha a kukorica tápanyag szükségleteihez igazodó tápelemösszetételű lombtrágyát juttattunk volna ki. Eredményeink azonban szintén alátámasztják azon korábbi kutatásokat, melyek a kukorica magnézium és cink ellátottságára történő nagyobb odafigyelésre hívják fel a figyelmet.

3.9. A fotoszintetikus pigment tartalom, a szuperoxid-dizmutáz aktivitás, a prolin -és malondialdehid tartalom eredményei

A levélfiziológiai vizsgálatok során a levélszövetek klorofill-*a*, klorofill-*b*, karotinoid pigmentek tartalmát, az MDA koncentrációját, a SOD aktivitását és a prolin tartalmát határoztuk meg a BK-21 kísérletben. A vizsgálatok eredményeit a 15. táblázat foglalja össze.

15. táblázat: A levélfiziológiai vizsgálatok eredményei

Paraméter	Kt	Np	Lt	Np + Lt
Klorofill <i>a</i> (mg kg ⁻¹ nyers tömeg)	18,5 ± 1,0 ^a	19,9 ± 0,7 ^b	19,7 ± 0,3 ^b	21,2 ± 0,2 ^c
Klorofill <i>b</i> (mg g ⁻¹ nyers tömeg)	4,8 ± 0,2 ^a	5,4 ± 0,7 ^a	5,2 ± 0,6 ^a	6,7 ± 0,7 ^b
Karotinoid (mg g ⁻¹ nyers tömeg)	13,2 ± 0,7 ^a	12,8 ± 0,4 ^a	13,9 ± 0,5 ^{ab}	14,8 ± 0,8 ^b
MDA koncentráció (nmol g ⁻¹ nyers tömeg)	154,8 ± 11,2 ^b	121,4 ± 16,6 ^a	113,5 ± 14,6 ^a	105,1 ± 12,2 ^a
SOD aktivitás (U g ⁻¹ nyers tömeg)	0,2 ± 0,0 ^d	0,2 ± 0,0 ^c	0,1 ± 0,0 ^b	0,1 ± 0,0 ^a
Prolin tartalom (μ ml ⁻¹)	291,0 ± 32,7 ^c	219,8 ± 11,9 ^{ab}	240,0 ± 14,4 ^b	195,0 ± 20,1 ^a

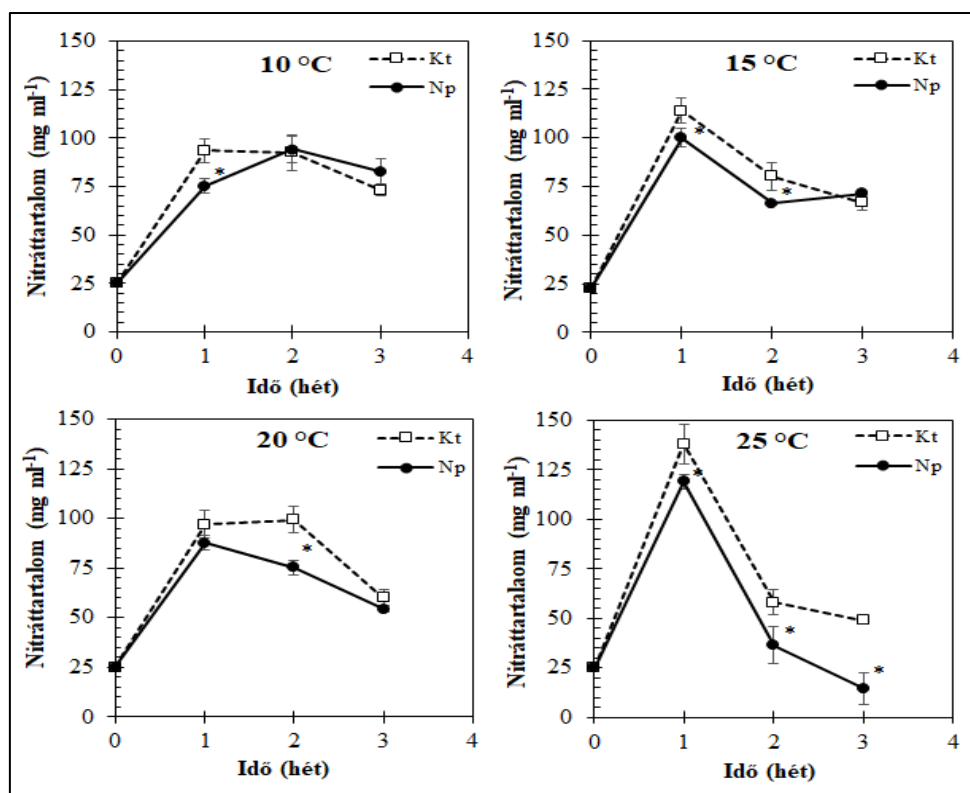
A táblázat kezelésként 5 független mérés átlagát és szórását tartalmazza a BK-21 kísérlet területéről. A különböző kisbetűk (a, b, c) a kezelések közötti szignifikáns eltérést jelölik (egytényezős ANOVA és Duncan-féle post hoc teszt; $p < 0,05$). Kt: kezeletlen; Np: nitrapyrin (vetés előtt); Lt: lombtrágya; Np + Lt: nitrapyrin (vetés előtt) + lombtrágya.

A kukorica egészségét szintén jól mutató klorofill-*a* és klorofill-*b* pigmentek legmagasabb értékeit a nitrapyrinnel és lombtrágyával együttesen kezelt állományokban tapasztaltuk, míg az oxidatív stressz hatására aktiválódó SOD, prolin- és MDA tartalom legalacsonyabb értékeit

szintén a kombinált kezelésű növényekben állapítottuk meg. Ezek az eredmények jól mutatják a tápanyagellátás rendkívüli jelentőségét a növények egészségében és stressz toleranciájának növelésében.

3.10. A nitrapyrin és a talajhőmérséklet-változás összefüggésének vizsgálata 58

A nitrapyrin hatékonyságát laboratóriumi, illetve szabadföldi körülmények között is vizsgáltuk. A talajinkubációs kísérlet eredményeit az 5. ábra szemlélteti, mely során a nitrapyrin hatékonyságát a talajminták nitráttartalmának változásán keresztül vizsgáltuk különböző hőmérsékleten. Mivel a kísérletet növénytakaró nélkül állítottuk be, a talajminták a nitrapyrin kezelése következtében a nitráttartalom alakulását a növényi tápanyagforgalom sem befolyásolta, így a nitráttartalom változása információt nyújt a talajban zajló nitrifikáció tevékenységének dinamikájáról.



8. ábra: A különböző hőmérsékletű talajok nitráttartalmának változása a nitrapyrin kezelés hatására

Az ábra kezelésenként 3 független mérés átlagát és szórását tartalmazza. * - Szignifikáns különbség a kezeletlen talajok nitráttartalmához képest (Student-féle t-teszt; $p < 0,05$).

A nitrapyrin kezelés optimális időzítésére irányuló kísérleti évek közül 2020 volt a kedvezőbb évjárat, amikor a kukorica számára kritikus fejlődési időszakban jelentősen több csapadék érkezett, szemben a 2021-es évvel. Eredményeink értékelését követően elmondható, hogy a nitrapyrin késleltetett kijuttatása csak abban az esetben indokolt, ha a kezelést követő időszakban nagyobb mennyiségű csapadék várható, amely segíti a kezelés hatására elérhető nagyobb mennyiségű nitrogén hatékonyabb hasznosítását. Tekintve, hogy a nitrapyrin önmagában történő kijuttatása plusz munkaműveletet jelent, a gyakorlatban a kukorica posztemergens gyomirtásával egy menetben történő kijuttatását javasolható.

3.11. A nitrapyrin kijuttatásának időzítésére irányuló szabadföldi vizsgálat

A nitrapyrin kezelés optimális időzítésének meghatározása céljából 2020-ban a BK-20, 2021-ben pedig a BK-21 kísérletek területein belül elkülönített parcellákban a nitrapyrin késleltetve is kijuttatása került (jelölés: Np⁺), így lehetőségünk volt a vetés előtti, illetve a vetés utáni, késleltetett kezelés hatékonyságának összevetésére.

2020-ban, a BK-20 kísérletben a **talaj nitráttartalmának** változását figyelve elmondható, hogy a nitrapyrin késleltetett kijuttatása kedvezőbbnek bizonyult, ugyanis hatására a kukorica intenzív tápanyagfelvételi időszakában több N forrás állt rendelkezésre a talajban. Mindazonáltal fontos hangsúlyozni, hogy a kezelést (2020. június 13.) követő időszak igen csapadékos volt, amely hozzájárult a talajon keresztüli hatékonyabb N-hasznosításához ebben a kritikus időszakban. Singh és Nelson (2019) szintén hangsúlyozták, hogy csapadékos időszakban az inhibitorok nagyobb hatékonysággal alkalmazhatóak a N veszteség mérséklése céljából. Eredményeinkkel Pittelkow és mtsai. (2017) kutatása is egyezést mutat, amelyben a nitrapyrin őszi (korai) kezelés a N veszteséget jelentősen nem csökkentette, így a termés hozamot sem növelte. Összességében 2020-ban a nitrapyrin kései kijuttatása a kukorica tápanyagfelvételi dinamikáját figyelembe véve hatékonyabbnak bizonyult, mindazonáltal a kései kijuttatás nagyobb hatékonysága feltehetően elsősorban a kezelést követő csapadékos időszaknak köszönhető. Ezzel szemben 2021-ben, a BK-21 kísérletben a kései kezelés hatására szignifikáns mértékben alacsonyabb nitráttartalmat mértünk a korai kezeléshez képest (Mivel 2021-ben a nitrapyrin kései kijuttatását (2021. június 10.) követően a 2020-as évhez képest rendkívül csapadékszegény időszak követte, így alapvetően a nitrátkimosódási veszteség is alacsonyabb lehetett. A kései kezelés hatására a jelentősen alacsonyabb nitráttartalom feltételezhetően a nitrifikációs tevékenység hatékony lassításával magyarázható, így az ammóniumionok nitrátionokká történő átalakulása is lassabb lehetett.

A **relatív klorofill tartalom** változását figyelve elmondható, hogy 2020-ban a BK-20 kísérletben a korai nitrapiyines kezeléshez képest a késleltetett kezelés hatására jelentősen magasabb SPAD értékeket mértünk, amely a növények hatékonyabb N-hasznosításával magyarázható. Ezzel szemben 2021-ben, a BK-21 kísérletben a kései nitrapiyirin kezelés hatékonysága már nem múlta felül a korai kezelését. A két év eltérő eredményének hátterében nagy valószínűséggel az adott évek klimatikus adottságai állhatnak. Míg a kukorica intenzív fejlődése időszakában 2020 csapadékban bőségesebb, addig 2021 jelentősen szegényesebb volt, mely tényezők nagy mértékben meghatározták a növények N-felvételi hatékonyságát a talajból, ezen keresztül pedig a relatív klorofill tartalmat is.

A **gyökértömeg** és a **szárvastagság** változásait figyelve 2020-ban, a BK-20 kísérletben a kései nitrapiyirin kezelés hatására mind a gyökértömeg, mind a szárvastagság paraméterek jelentős mértékben növekedtek a korai kezeléshez képest. Ezzel szemben 2021-ben, a BK-21 kísérletben a két időpontban kijuttatott nitrapiyirin hatékonysága között nem volt szignifikáns különbség, amelynek hátterében szintén az évjárat adottságai lehetnek. 2020-ban a nitrapiyirin kései kijuttatását követő bőséges csapadék feltehetőleg kedvezőbb N-felvételi körülményeket teremtett a növények számára, míg 2021-ben a szárazság a talajon keresztül felvett N mennyiségét is jelentős mértékben hátráltathatta, csökkentve ezzel a biomassa gyarapodást.

Habár a 2020-ban, a BK-20 kísérletben a kései nitrapiyirin kezelés hatására közel azonos **ezerszemtömeget** állapítottunk meg, a **csőhossz** és **csővastagság** azonban szignifikánsan mértékben növekedett, így a későbbi nitrapiyines kezelés kedvezőbbnek bizonyult. Ezzel szemben 2021-ben, a BK-21 kísérletben a kései kezelés hatására egyik paraméter esetében sem tapasztaltunk kedvező változást, sőt, az ezerszemtömeg és csőhossz paraméterek esetében statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb értékeket állapítottunk meg. Mindennek oka feltehetően az adott év eltérő csapadékelátottsága, amely 2020-ban sokkal kedvezőbbnek bizonyult a kukorica fejlődése szempontjából.

A nitrapiyirin két időpontban történő kijuttatásának hatásait a **termés beltartalmi jellemzőinek** változásán keresztül is vizsgáltuk. Összességében elmondható, hogy mind a két évben kismértékű különbségeket tapasztaltunk a fehérje, olaj és keményítőtartalom esetében is. 2020-ban, a BK-20 kísérletben leginkább a fehérjetartalom növekedését tapasztaltuk a kései nitrapiyirin kezelés hatására, míg az olaj és keményítőtartalom változásában nem állapítottunk meg jelentős eltérést. Ehhez képest adataink alapján 2021-ben, a BK-21 kísérletben a nitrapiyirin kései kijuttatásának hatására a fehérjetartalom valamelyest még csökkent is.

A nitrapiyirin kezelések a **levélszövetek tápelemtartalmára** gyakorolt hatásait vizsgálva elmondható, hogy 2020-ban, a BK-20 kísérletben a kései nitrapiyirin kezelés hatására jelentősen

növekedett a levélszövetek N-tartalma, amelynek köszönhetően sikerült megelőzni a nitrapyrinnel vetés előtt kezelt állományokban kialakuló súlyos N-hiánybetegséget. A kései nitrapyrin kezelés hatására jelentősen javuló N-ellátottságot a talaj késleltetett kezelésének hatására a talajban kialakuló kedvezőbb N-felvételi körülményei eredményezhették, amelyhez a kijuttatást követő bőséges csapadékhozam is nagy mértékben hozzájárulhatott. A nitrapyrin kései kezelésével a N-en túl, habár nem jelentős mértékben, de a növények Mg és S-ellátottsága is javult. Azaz, a nitrapyrin késleltetett kijuttatása 2020-ban eredményesebbnek bizonyult a korai kijuttatásnál. Ezzel szemben 2021-ben a BK-21 kísérletben a nitrapyrin kései kijuttatásának ezen kedvező hatásait már nem tapasztaltuk, ugyanis egyik tápelem esetében sem állapítottunk meg növekedést a kezelés hatására. Ez minden bizonnyal az évjárat a csapadékviszonyok kedvezőtlen alakulásával magyarázható. 2020-ban ugyanis a kukorica intenzív tápanyagfelvételi időszakában a csapékhozam jelentősen magasabb volt, mint 2021-ben, így a kései nitrapyrin kezelés hatékonysága a korai kezeléshez képest 2020-ban jelentősen nagyobb volt, mint 2020-ban.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. **Kutatási eredményeink alapján a nitrapyrin kezeléssel növelhető a kukorica nitrogénhasznosítása,** javulnak a növény nitrogén ellátottságával összefüggő paraméterek.
2. **Talajinkubációs vizsgálat alapján bizonyítottuk, hogy a nitrapyrin hatékonysága a talajhőmérséklet emelkedésével nő.** Igazoltuk, hogy a melegebb talajhőmérsékletben felgyorsuló nitrifikáció következtében a nitrapyrin inhibíciója erősödik.
3. **Igazoltuk, hogy a nitrapyrin vetés utáni, késleltetett kijuttatásának kedvező hatása csapadékos évjáratban várható.**
4. **A nitrapyrin kezelés kiemelkedően hatékonynak bizonyul homokos talajban történő alkalmazásakor.** A kukorica állomány látványos fiziológiai javulását homoktalajon bizonyítottuk.
5. **Bizonyítottuk, hogy a nitrapyrin lombtrágya kezeléssel történő kiegészítése további kedvező növényfiziológiai változásokat eredményez kukoricában.** Megállapítottuk, hogy a nitrogén veszteség csökkentését, így a hatékonyabb nitrogénfelvételt segítő nitrapyrin, illetve a nitrogént is tartalmazó lombtrágya együttes kezelésével javítható a növények fiziológiai állapota. Igazoltuk, hogy a nitrapyrin- és lombtrágyakezelés kombinációja csökkenti a kukoricalevelek fiziológiás stressz-szintjét.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A nitrogén eredetű veszteségek csökkentését célzó nitrapyrin hatóanyagtartalmú nitrifikációs inhibitor sikeresen alkalmazható a magas nitrogénigényű növények hatékonyabb nitrogénellátására. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a nitrapyrin alkalmazásával növelhetők a növények nitrogénellátottságával szoros korrelációban álló paraméterek, pl. a klorofilltartalom, a biomassa gyarapodás, az ezerszemtömeg és a termés fehérjetartalma. Az elért eredményeknek nagy gyakorlati jelentősége van, a nitrapyrin okszerű kijuttatásával a kukorica mellett a repce és kalászos növények terméshozama is növelhető.
2. A nitrapyrin kijuttatásának optimális idejére irányuló vizsgálatok alapján megállapítottuk, hogy amennyiben a nitrapyrin a növény vetése után, késleltetett kijuttatásának tervezett időpontját követően az előrejelzések alapján csapadékosabb napokra lehet számítani, illetve, ha öntözési rendszerrel ellátott területen tervezzük a kezelést, a nitrapyrin nagyobb fokú hatékonyságára lehet számítani.
3. A nitrapyrin laza szerkezetű, homoktalajokon történő kijuttatása jelentős mértékben segíti a növények hatékonyabb nitrogénhasznosítását, ezért a kezelést leginkább olyan területeken indokolt elvégezni, ahol a talaj fizikai féleségéből adódóan nitrogén veszteségek alapvetően jelentősebbek.
4. A kukorica tápanyagutánpótlását kiegészítő lombtrágyás kezelés önmagában nem elégséges a növény fiziológiai állapotának javításához. Vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a kukorica tápelem igényeihez igazodó, magas Zn és Mg tartalmú készítmények alkalmazása célszerű, ugyanis a laboratóriumi levélanalízis eredményei rávilágítottak a kukorica Zn és Mg hiányával szembeni fokozott érzékenységére.
5. Kísérletünk legtöbb helyszínén a levélszövetek tápelemtartalmának laboratóriumi vizsgálatai felhívják a figyelmet a növények gyakori rejtett hiánybetegségeire, amelyek időben történő feltárása és kezelése minden gazdálkodónak alapvető feladata.
6. Napjainkban számos kutatás középpontjában a növények stressztűrését javító kutatások állnak. A nitrapyrin- és lombtrágyakezelés kombinációjával növelhető a növények biotikus (kórokozók fertőzése) és abiotikus stresszel szembeni toleranciája, így a tápanyaghasznosulást segítő nitrifikációs inhibitorok, illetve a tápanyagutánpótlást kiegészítő lombtrágyás kezelések gyakorlatban történő alkalmazása egyaránt indokolt a növények kedvezőbb egészségi állapotának elérése érdekében.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Brankov M. – Simi'c M. – Dolijanovi'c Ž. – Rajkovi'c M. – Mandi'c V. – Dragi'cevi'c V.: 2020. The Response of Maize Lines to Foliar Fertilizing. *Agriculture*. 2020, 10, 365.
- Carillo P. – Gibon Y.: 2011. Extraction and Determination of Proline. Prometheus Wiki 2011. Available online: <https://prometheuswiki.rsb.anu.edu.au/tiki-pagehistory.php?page=Extraction%20and%20determination%20of%20proline&preview=14> (accessed on 17 March 2022)
- De Mendiburu F. *Agricolae*: Statistical Procedures for Agricultural Research; R Package Version 1.3-5. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae> (accessed on 10 August 2021).
- Dimpka C. O. – Fugice J. – Singh U. – Lewis T. D.: 2020. Development of fertilizers for enhances nitrogen use efficiency – Trends and perspectives. *Science of the Total Environment* 731, 139113. doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.139113.
- Fernández V. – Eichert T.: 2009. Uptake of hydrophilic solutes through plant leaves: Current state of knowledge and perspectives of foliar fertilization. *Critical Reviews In Plant Sciences*. 28:36-68
- Giannopolitis C.N. – Ries S.K.: 1977. Superoxide Dismutases. *Plant Physiology*. 1977, 59, 309–doi: 10.1104/pp.59.2.309.
- Heath R.L. – Packer L.: 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1968, 125, 189–198.
- Hummel I. –Pantin F. –Sulpice R. –Piques M. –Rolland G. –Dauzat M. – Christophe A. Pervent M. – Bouteillé M. –Stitt M. – Gibon Y. – Muller B.: 2010. Arabidopsis Plants Acclimate to Water Deficit at Low Cost through Changes of Carbon Usage: An Integrated Perspective Using Growth, Metabolite, Enzyme, and Gene Expression Analysis. *Plant Physiology*. 2010, 154, 357–372.
- Keerthisinghe D. G. – Freney J. R. – Mosier A. R.: 1993. Effect of wax-coated calcium carbide and nitrapyrin on nitrogen loss and methane emission from dry-seeded flooded rice. *Biology and Fertility of Soils*. 16: 71-75.
- Kundu P. – Goel K. – Zinta G.: 2022. Nutritional imbalance in plants under rising atmospheric CO₂. *Plant Nutrition and Food Security in the Era of Climate Change*. 513–536. doi: 10.1016/b978-0-12-822916-3.00006-8
- Nagy P. – Szabó T. – Soltész M. – Nyéki J. – Szabó Z.: 2011. A csapadékos időjárás hatása az almaültetvény tápanyagfelvételére és -ellátottságára. “*KÍLMA-21*” Füzetek 64, 22-26.
- Omara P. – Aula L. – Oyebiyi F. – Raun W. R.: 2019. World Cereal Nitrogen Use Efficiency Trends: Review and Current Knowledge. *Agrosystems, Geosciences & Environment*. 2(1), 1–doi: 10.2134/age2018.10.0045
- Powell S. J. – Prosser J. I.: 1986. Inhibition of ammonium oxidation by nitrapyrin in soil and liquid culture. *Applied and Environmental Microbiology*. 52(4): 782-787.
- Ranum P. – Peña-Rosas J.P. – Garcia-Casal M.N.: 2014. Global Maize Production, Utilization, And Consumption. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2014 Apr; 1312:105-12. doi: 10.1111/Nyas.12396. Epub 2014 Mar 20. Pmid: 24650320.
- Wellburn A.R.: 1990. The Spectral Determination of Chlorophylls *a* and *b*, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvents with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiology*. 1994, 144, 307–313. doi: 10.1016/s0176-1617(11)81192-2.
- Zhang B. – Li Q. – Cao J. – Zhang C. – Song Z. – Zhang F. – Chen X.: 2017. Reducing nitrogen leaching in a subtropical vegetable system. *Agriculture, Ecosystem & Environment*. 2017, 241, 133–141.

- Zhong-Qing Z. – Qiang G. – Jing-Min Y. – Yan W. – Jing-Yi Y. – Xue Z. – Guo-Zhong F. – Zhi-Qiang C. – Shao-Jie W. – Hong-Ge S.: 2020. Fabrication and release behaviour of nitrapyrin microcapsules: Using modified melamine-formaldehyde resin as shell material. *The Science of the Total Environment*. 704, 135394. doi: [10.1016/j.scitotenv.2019.135394](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135394)
- Zuber M. S. – Calvert O. H. – Kwolek W. F. – Lillehoj E. B. – Kang M. S.: 1978. Aflatoxin B1 production in an eight-line diallel of Zea mays infected with Aspergillus flavus. *Phytopathology*. 68: 1346. doi: 10.1094/Phyto-68-1346

Inernetes források:

- | | | | | |
|--------------|---|------------|-------------------|-----------|
| OMSZ.: 2019. | Országos meteorológia | szolgálat. | Agrometeorológia. | Elérhető: |
| | https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/ | | | |
| OMSZ.: 2020. | Országos meteorológia | szolgálat. | Agrometeorológia. | Elérhető: |
| | https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/ | | | |
| OMSZ.: 2021. | Országos meteorológia | szolgálat. | Agrometeorológia. | Elérhető: |
| | https://www.met.hu/idojaras/agrometeorologia/ | | | |

7. PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK



**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400
Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

Nyilvántartási szám: DEENK/394/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Gila-Rácz Dalma Emese
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10068468

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. Rácz, D., Radócz, L.: The impact of applying foliar fertilizers on the health condition of maize.
Agrártud. közl. 2 (1), 105-109, 2020. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/1/3769>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

2. Rácz, D., Gila, B., Szőke, L., Széles, A.: N-Stabilizer and Foliar Fertilizer Treatments Enhance Tolerance to Specific Pathogens in Maize (*Zea mays* L.).
Agric. conspec. sci. 87 (1), 25-33, 2022. ISSN: 1331-7768.
3. Rácz, D., Szőke, L., Tóth, B., Kovács, B., Horváth, É., Zagyi, P., Duzs, L., Széles, A.: Examination of the Productivity and Physiological Responses of Maize (*Zea mays* L.) to Nitrapyrin and Foliar Fertilizer Treatments.
Plants-Basel. 10 (11), 1-19, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112426>
IF: 4.658
4. Rácz, D., Gila, B., Horváth, É., Illés, Á., Széles, A.: The efficiency of nitrogen stabilizer at different soil temperatures on the physiological development and productivity of maize (*Zea mays* L.).
Agron. Res. 19 (4), 1888-1900, 2021. ISSN: 1406-894X.
DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.21.146>





További közlemények

Idegen nyelvű, hazai könyvrészletek (1)

5. Rácz, D., Szőke, L., Széles, A.: A nitrapyrin hatása a kukorica (*Zea mays* L.) biomassza gyarapodására és egészségügyi állapotára. Utánközlés másodközlés,
In: Kutatás-fejlesztés-innováció az agrárium szolgálatában II. kötet. Szerk.: Szabó Péter, Simon Brigitta, Soós Adrienn, Faludi Gergely, Fitos Gábor, Doktoranduszok Országos Szövetsége, Budapest, 155-166, 2021. ISBN: 9786155586736

Idegen nyelvű, külföldi könyvrészletek (1)

6. Csüllög, K., Rácz, D., Tarcali, G.: Effectiveness of different fungicides against *Macrophomina phaseolina* in poisoned media technique in vitro.
In: Precision Agriculture and Sustainable Crop Production. Ed.: H. K. Chourasia, K. Acharia, V. K. Singh, Today & Tomorrow's Printers and Publishers, New Delhi, 53-62, 2020. ISBN: 9788170196679

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

7. Szőke, L., Kovács, G. E., Biró, G., Rácz, D., Radócz, L., Takácsné Hájos, M., Kovács, B., Tóth, B.:
Hormonkezelések hatása a golyvásüszög fertőzés tüneteinek mérséklésére.
Növénytermelés. 70 (2), 21-42, 2021. ISSN: 0546-8191.
8. Rácz, D., Radócz, L.: A nitrogén stabilizátor és lombrágya együttes alkalmazásának hatékonysága a kukorica egészségi állapotára.
Georgicon Agric. 24 (1), 37-42, 2020. ISSN: 0239-1260.
9. Kövics, G., Tarcali, G., Csüllög, K., Rácz, D., Biró, G., Csótó, A., Szarukán, I., Nagy, A., Szanyi, S., Szilágyi, A., Kovács, G. E., Radócz, L.: A szója integrált védelme.
Növényvédelem. 81 (6), 251-275, 2020. ISSN: 0133-0829.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

10. Rácz, D., Dužs, L., Horváth, É., Zagyi, P., Széles, A.: The impact of different soil temperatures on the nitrogen stabilizer efficiency in maize (*Zea mays* L.).
Növénytermelés. 70 (3), 113-115, 2021. ISSN: 0546-8191.
11. Rácz, D., Radócz, L.: Nutrient deficiency and effects of various nutrition technologies on crop health.
Agrártud. Közl. 2, 109-113, 2019. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/3687>





Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (2)

12. Széles, A., Horváth, É., Rácz, D., Duzs, L., Bojtor, C., Huzsvai, L.: Development of stomatal conductance of maize under moderately hot, dry production conditions.
Agron. Res. 19 (4), 2013-2025, 2021. ISSN: 1406-894X.
DOI: <https://doi.org/10.15159/AR.21.151>
13. Szőke, L., Moloi, M. J., Kovács, G. E., Biró, G., Radócz, L., Takácsné Hájos, M., Kovács, B., Rácz, D., Danter, M., Tóth, B.: The Application of Phytohormones as Biostimulants in Corn Smut Infected Hungarian Sweet and Fodder Corn Hybrids.
Plants-Basel. 10 (9), 1-23, 2021. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants10091822>
IF: 4.658

Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (5)

14. Rácz, D., Gila, B., Szőke, L., Széles, A.: Examination of natural resistance to specific pathogens in N-stabilizer and foliar fertilizer treated corn (*Zea mays* L.).
In: Plant Protection Conference - 61. Scientific Session of the Institute of Plant Protection : NRI Book of abstract, Instytutu Ochrony Roslin Panstwowego Instytutu Badawczego, Poznan, 113-113, 2021.
15. Szőke, L., Kovács, G. E., Radócz, L., Biró, G., Rácz, D., Kovács, B., Tóth, B.: Impact of corn smut [*Ustilago maydis* (DC.) Corda] sporidium numbers on some physiological parameters of fodder corn in field experiment.
In: Plant Protection Conference - 61. Scientific Session of the Institute of Plant Protection : NRI book of abstracts, Instytutu Ochrony Roslin Panstwowego Instytutu Badawczego, Poznan, 116-116, 2021.
16. Szőke, L., Kovács, G. E., Rácz, D., Biró, G., Radócz, L., Kovács, B., Tóth, B.: Examination of the impact of *Ustilago maydis* infection on some parameters of sweet corn = Az *Ustilago maydis* fertőzés hatásának vizsgálata a csemegekukorica néhány paraméterére.
In: A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : 62. Georgikon Napok : Előadások kivonatai, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 1, 2020.
17. Csüllög, K., Rácz, D., Tarcali, G.: The Charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina* (Tassi) Goid.) in Hungary.
In: National Seminar on Recent Advances in Fungal Diversity, Plant-Microbes Interaction and Disease Management RFPIDM-2020, Banaras Hindu University, Varanasi, 76-77, 2020.





**DEBRECENI
EGYETEM**

**DEBRECENI EGYETEM
EGYETEMI ÉS NEMZETI KÖNYVTÁR**

H-4002 Debrecen, Egyetem tér 1, Pf.: 400

Tel.: 52/410-443, e-mail: publikaciok@lib.unideb.hu

18. Csüllög, K., Rácz, D., Tarcali, G.: The Charcoal rot disease (*Macrophomina phaseolina*) on sunflower in Hungary.

In: 60. Österreichischen Pflanzenschutztag : Tagungsband, [s.n.], Leibnitz, 67, 2019.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 9,316

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
4,658**

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

Debrecen, 2022.08.22.

