

Doktori (PhD) értekezés tézisei

A NÖVÉNYI TÁPANYAGELLÁTÁS ÉRTÉKELHETŐSÉGE A PRECÍZIÓS MEZŐGAZDASÁGBAN, KÜLÖNÖS TEKINTETTEL A NITROGÉNRE

Simkó Attila

Témavezető: Prof. Dr. Veres Szilvia
egyetemi tanár



DEBRECENI EGYETEM
KERPELY KÁLMÁN NÖVÉNYTERMESZTÉSI - ÉS
KERTÉSZETI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

DEBRECEN, 2022

1. A DOKTORI ÉRTEKEZÉS ELŐZMÉNYEI ÉS CÉLKITŰZÉSEI

A napjainkban is zajló klímaváltozás újabb és újabb problémákat emel a növénytermesztés elé. A növények számára esszenciális tápelemek utánpótlása az egyik legkardinálisabb tényező az agrotechnikai beavatkozások közül. Emellett mind ökológiai, mind pedig gazdasági szempontból az egyik legjelentősebb kockázatot hordozza magában. A XX. század első felében igen alacsony szinten volt a szintetikus tápanyagok kijuttatása, majd ezt követően, a zöld forradalom során ez az érték megsokszorozódott, majd a 90' években ismét jelentősen lecsökkent. A rendelkezésre álló legfrissebb adatok alapján, a világon több mint 110 millió tonna nitrogén hatóanyagot juttatunk ki a termőföldjeinkre műtrágyaként. Ez környezetvédelmi és ökonómiai hatékonyság szempontjából is kedvezőtlen lehet. Ezek alapján, igényként merül fel a N tartalmú műtrágyák felhasználásának mérséklése, illetve azok kijuttatási hatékonyságának növelése, azonban a műtrágyák és kemikáliák felhasznált mennyiségének mérséklése önmagában nem oldja meg a problémát, így más gyakorlatok adaptálása is nélkülözhetetlen a gyakorlati gazdálkodásban.

A gazdálkodásunk sikerességét alapvetően határozza meg, a választott növény genotípusának adaptációs képessége. Az új nemesítési eljárások elterjedésével párhuzamosan a biológiai alapok is jelentős fejlődésen mentek keresztül. Különösen fontos, ez az olyan nagy területen termesztett kultúrák esetében, mint például a kukorica, melyet világviszonylatban több mint 197 millió hektáron termesztettek 2019-ben és 1,14 milliárd t termést takarítottak be. A felhasználási lehetőségeinek folyamatos bővülése és az élelmiszerláncban betöltött szerepe miatt ezek a számok a jövőben várhatóan tovább fognak növekedni.

Az utóbbi évtizedek technológia fejlődése lehetővé tette a pontos, helyspecifikus növényi állapot felvételezését. A precíziós gazdálkodás alaptétele, hogy a tábla adottságainak és az elvárt termésszintnek megfelelően, differenciálva végezzük el az agrotechnikai beavatkozásokat. Ezzel a legfőbb célunk az optimális termésmennyiség elérése valamint, az input anyagok kijuttatásának optimalizálása. A technológia adta lehetőségek egyre jobbak, és a gyakorlatban is alkalmazhatóvá tették a precíziós technológiákat, azonban a folyamatos kutatás, az újabb és újabb paraméterek felfedezése nélkülözhetetlenek annak tovább fejlesztéséhez, javításához. Ilyen szempontból különös jelentőséggel bírnak a növényfiziológiai kutatások, a precíziós gazdálkodás technológiai alapját képezik.

A kutatásunk területe elsődlegesen a kukorica és annak tápanyaghasznosítási tulajdonságai köré körvonalazódtak, céljaink a következők voltak:

- Kukorica genotípusok eltérő mennyiségű N adagolásra adott növényfiziológiai válaszreakcióinak vizsgálata.
- Olyan paraméterek azonosítása is a célunk, melynek segítségével jellemezni tudjuk a növény N hasznosítást, azok eltérő körülmények közötti képlékenységét, az alkalmazkodás határait. Törekedtünk elsősorban olyan *in vivo* és *in situ* körülmények között felvételezhető paraméterek azonosítására, melyek felhasználásával közvetlen eszközt adhatunk a precíziós növénytermesztés számára.
- Az eredmények alapján a genotípusok kategorizálása N hasznosítási hatékonyság szempontjából.
- Az e paraméterek alapján kiválasztott néhány eltérő N hasznosítási hatékonysággal jellemezhető kukorica genotípus N hasznosításának, és egyéb növényfiziológiai paramétereinek vizsgálata szabadföldi kísérletek során.
- Célunk volt annak megállapítása, hogy a csökkentett mennyiségű nitrogén ellátás befolyásolja-e a kukorica számára fontos cink felvételét.

A növekedés, fejlődés szempontjából kedvezőtlen környezet befolyással van a tápelem hasznosítási hatékonyságra. Vizsgálataink célkitűzései alapkutatási eredményeket biztosítanak az ilyen irányú alkalmazott kutatások, valamint a növénynevelés számára, továbbá ugyancsak figyelembe veszik a klímaváltozás által a növénytermesztéssel szemben támasztott igényeket is.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. A kísérleti helyszínek bemutatása

A kontrollált kísérleteink helyszíne a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Növénytudományi Intézet, Alkalmazott Növénybiológiai Tanszék klímaszobája volt. A növénynevelő kamrában a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra volt. A megvilágított időszakban a fény intenzitását $300 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ értékre állítottuk be. A hőmérséklet periodicitása 25/20°C (nappal/éjjel) míg a relatív páratartalom (RH) 65-75% volt. A növények nevelését hidropónikus rendszer segítségével végeztük. Kontrollált körülmények között, két teljesen különálló kísérletet végeztünk el. A nitrogénhasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított kísérletnél két féle nitrogén (N) szinttel (optimális és ¼-re csökkentett N) kezeltük a növényeket valamint 22 db kukorica (*Zea mays* L.) genotípust vizsgáltunk (Armagnac, DK 440, DKC 4590, DKC4490, Fornad, Loupiac, MV Danietta, MV Illango, MV Margitta, MVOlek, Neffel, NK Columbia, NK Thermo, Occitan, P0023, P0216, P9074, P9415, P9537, P9903, Renfor, Sushi). A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított kísérlet során az előző kísérletben használt genotípusok közül az Armagnacot és a P9903-t választottuk ki. A kísérletben a növényeket eltérő nitrogén és cink (Zn) adagokkal kezeltük. A nitrogénkezelések megegyeztek az előzőekben bemutatott N szintekkel. A cink esetében 5 szintet használtunk ($0 \mu\text{mol L}^{-1}$ (0 Zn); $50 \mu\text{mol L}^{-1}$ (1/2 Zn), $100 \mu\text{mol L}^{-1}$ (Opt. Zn); $200 \mu\text{mol L}^{-1}$ (2x Zn); $500 \mu\text{mol L}^{-1}$ (5x Zn)). A mintavételeket és a különböző paraméterek mérését a kísérlet felszámolásakor, 5 leveles (V5) állapotban végeztük el.

A nitrogén hasznosítási hatékonyság jellemzésére beállított kísérletünk helyszínül a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep szolgált ($47^{\circ}30'\text{É}$, $21^{\circ}36'\text{K}$; tengerszintfeletti magasság: 111 mBf). A kísérlet helyszínének talajtípusa mészlepedékes csernozjom volt. A kísérlet során három nitrogén szintet alkalmaztunk. A kontroll parcellák esetében 0 kg ha^{-1} a második műtrágya szinten 80 kg ha^{-1} , míg a legmagasabb nitrogén adag esetén 160 kg ha^{-1} nitrogén hatóanyagot juttatunk ki. A kísérlet során három kukorica hibridet vizsgáltunk (Armagnac, Fornad, Loupiac). A vizsgálatainkat 3 év vegetációs periódusában (2018, 2019, 2020) végeztük.

A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított, szántóföldi kísérletünket a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Bemutatókert és Arborétum ($47^{\circ}33'\text{É}$, $21^{\circ}36'\text{K}$; tengerszintfeletti magasság 114 mBf) helyszínén

végeztük el. A kísérlet helyszínének talajtípusa ez esetben is mészlepedékes csernozjom volt. A kísérlet során az Armagnac és P9903 genotípusokat alkalmaztuk. E kísérletben két nitrogénszintet alkalmaztunk: 40 és 160 kg ha⁻¹. A kísérlet további kezeléseit a Zn alkalmazási módja jelentette. A hibrideket és nitrogén adagokat kombináltuk lombtrágyaként vagy talajtrágyaként kijuttatott továbbá cinktrágyázás nélküli kezelésekkel. A vizsgálatainkat két év vegetációs periódusában (2019, 2020) végeztük. Mind a két szabadföldi kísérlet során a minták begyűjtését az alábbi fenofázisokban végeztük el 7 leveles állapot (V7), címerhányás (VT), nővirágzás (R1), szemtelítődés kezdete (R2), fiziológiai érettség (R6). A növények fejlettségi állapotát HANWAY (1963) munkája alapján állapítottuk meg.

2.2. A vizsgálati módszerek bemutatása

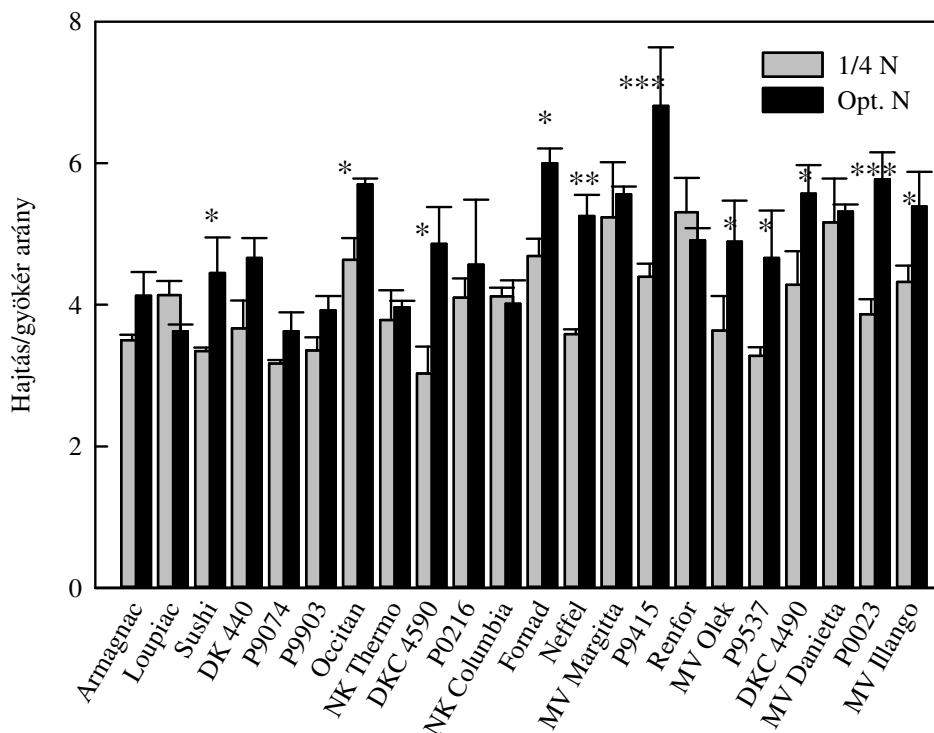
A kísérleteink során fiatal növényeknél vizsgáltuk a növényi szárazanyag tömeg gyarapodását, melynek meghatározását termogravimetriás módszerrel végeztük el. A specifikus levélterületet (SLA) GARNIER és munkatársai (2001) módszere szerint történt. A relatív klorofill tartalom jellemzésére a SPAD (Soil Plant Analysis Development) értéket használtuk. Az értékeket SPAD 502 (Minolta, Japán) készülékkel mértük. A fotoszintetikus pigmentek kvalitatív és kvantitatív vizsgálatát MORAN és PORATH (1980) módszere valamint WELLBURN (1994) képletével határoztuk meg. Az *in vivo* klorofill-fluoreszcencia indukció módszert a növényeket ért potenciális tápanyagstressz hatásainak jellemzésére használtuk. A kísérleteinkben PAM 2100 (Walz, Németország) típusú hordozható fluorométert használtunk. A laboratóriumi N hasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított kísérletben Variomax Cube CNS analizátorral (Elementar, Németország) határoztuk meg a minták szén és N tartalmát. A Zn és N ellátottság összefüggéseinek vizsgálatára beállított kísérlet során gyűjtött minták Zn és N tartalmát a DE-MÉK Agrárműszerközpontjában vizsgáltuk meg. Az aszályos hónapok jellemzésére a Gaussen-Bagnouls xerotermikus indexet (BGI) használtuk (BAGNOULS és GAUSSEN, 1953).

2.3. Statisztikai elemzés

Az adatokat statisztikai analíziséhez SigmaPlot for Windows 12 (Systat software) és SPSS Statistics 20 (IBM) programokat használtunk. A kísérleti beállításoknak megfelelően két és/vagy háromtényezős variancia analízis (ANOVA) segítségével értékeltük a kezeléseink hatását az adott paraméterre. A laboratóriumi N hasznosítási kísérlet végén 20 paraméter alapján Cluster analízist végeztünk melyhez Ward linkage módszert használtunk.

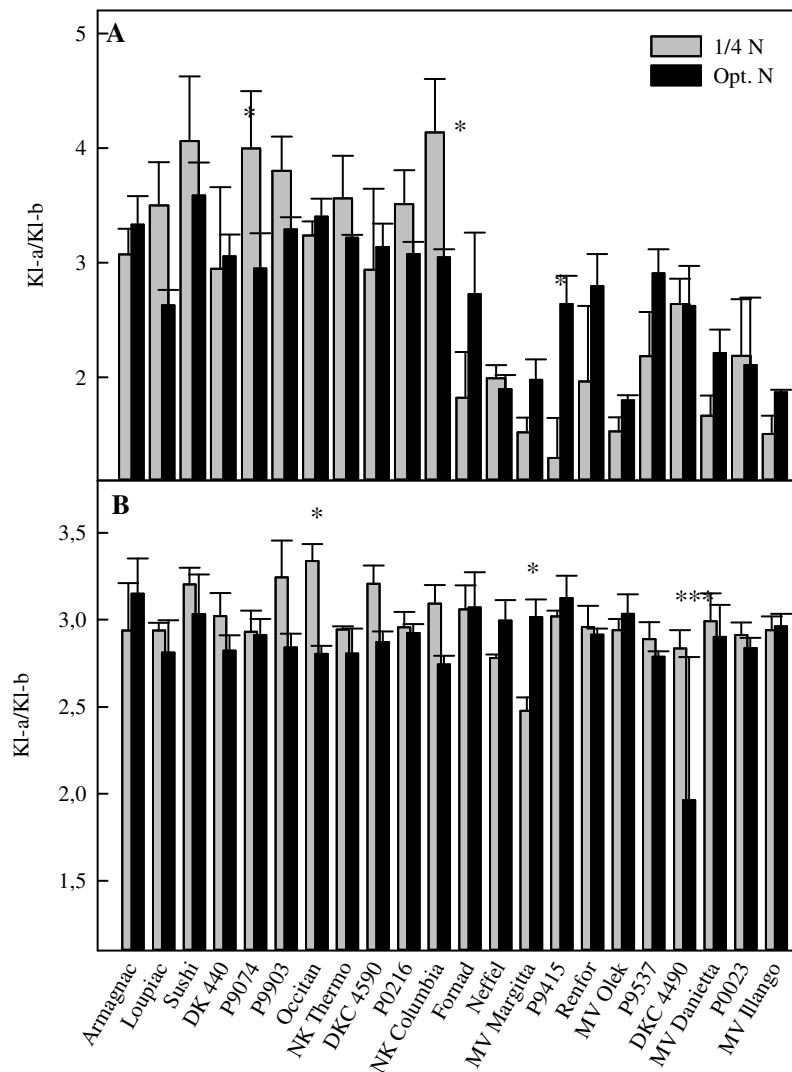
3. EREDMÉNYEK

A kutatásaink során célunk volt olyan genotípusok azonosítása, melyek hatékony N hasznosítással jellemezhetők. Az eredmények alapján, a két N kezelés között, a hajtás szárazanyag tömeg értéke átlagosan 30,5%-kal csökkent a csökkentett N ellátás hatására, ugyanakkor a gyökér szárazanyag tömeg értéke több genotípusnál is növekedett vagy nem változott (Armagnac, DK440, Neffel, P9074, P9537, Occitan) mely a tápanyaghiányhoz való alkalmazkodó képesség egyik jele lehet. A hajtás-gyökér arány érték átlagosan 17,8%-kal az optimális N szint mellett volt magasabb, de ekkor is adódtak eltérések a genotípusok között (1. ábra). Mivel az optimális N ellátás indukálta a hajtás növekedését, míg a N megvonás inkább a gyökér esetén eredményezett növekedő tendenciát, ezért érthetően növekedett az eltérés az optimális és csökkentett N szintek között mért értékek között. Amikor nem volt jelentős eltérés a N szintek mellett tapasztalt érték között, akkor N hiánnyal szembeni toleranciára következtethetünk, mint például az Armagnac, NK Columbia vagy P0216 hibrideknél.



1. ábra. A hajtás és a gyökér száraztömeg arányának (Hajtás/gyökér arány) változása a különböző N kezelések (optimális N: opt. N, és negyedére csökkentett N :1/4 N), hatására genotípusonként (Armagnac, Loupiac, Sushi, DK440, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590, P0216, NK Columbia, Fornad, Neffel, MV Margitta, P9415, Renfor, MV Olek, P9537, DKC 4490, MV Danietta, P0023, MV Illango) n=3, \pm s.e., a N szintek közötti eltérés: $P \leq 0,05^*$, $P \leq 0,01^{**}$, $P \leq 0,001^{***}$

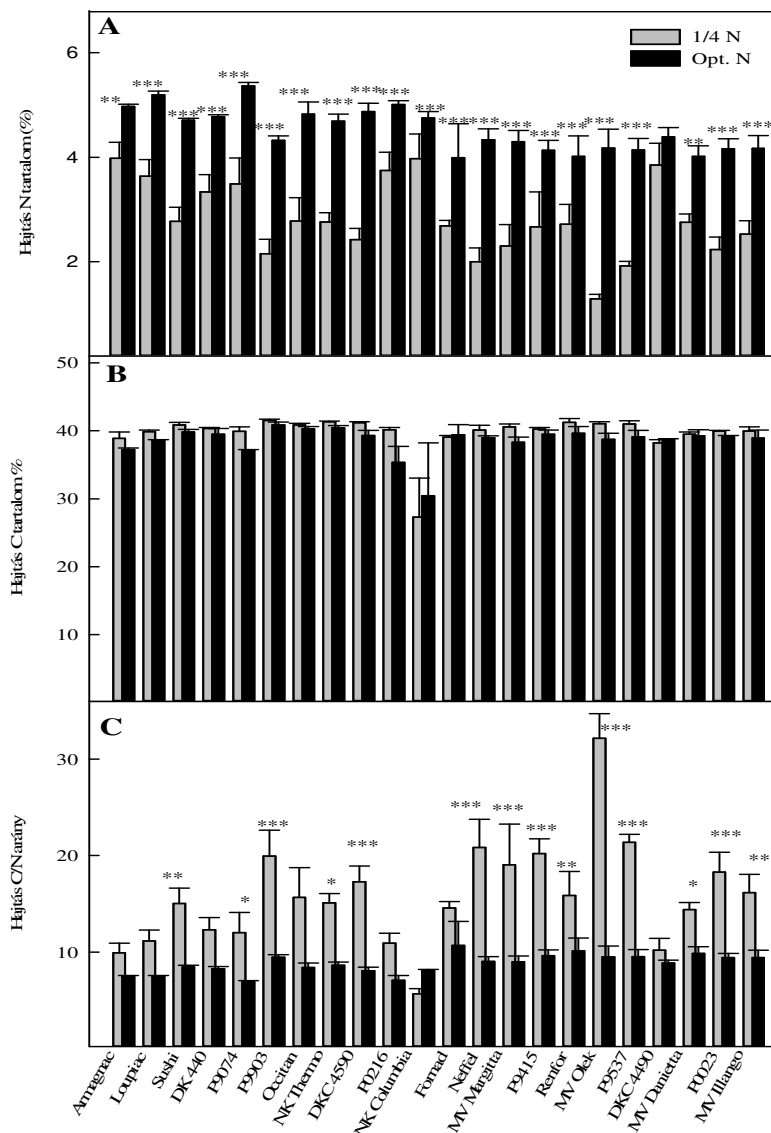
Az idősebb levélen tapasztalt klorofill-a/klorofill-b arány kis mértékben növekedett a nitrogénmegvonás hatására, azonban ez a változás nem volt statisztikailag igazolható (2. ábra), kisebb mértékű volt a genotípusok közötti különbség is. A legnagyobb értéket az NK Columbianál mértük. Az MV Olek hibridnél ez az érték csupán 1,7 szerese volt a klorofill-b tartalomnak.



2. ábra A klorofill-a/klorofill-b arány (Kl-a/Kl-b) értékének változása az idősebb (A) és fiatalabb (B) levélen különböző N kezelések (optimális N: opt.N, és negyedére csökkentett N :1/4 N), hatására genotípusonként (Armagnac, Loupiac, Sushi, DK440, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590, P0216, NK Columbia, Fornad, Neffel, MV Margitta, P9415, Renfor, MV Olek, P9537, DKC 4490, MV Danietta, P0023, MV Illango) n=3, \pm s.e., a N szintek közötti eltérés: $P < 0,05^*$, $P < 0,01^{**}$, $P < 0,001^{***}$

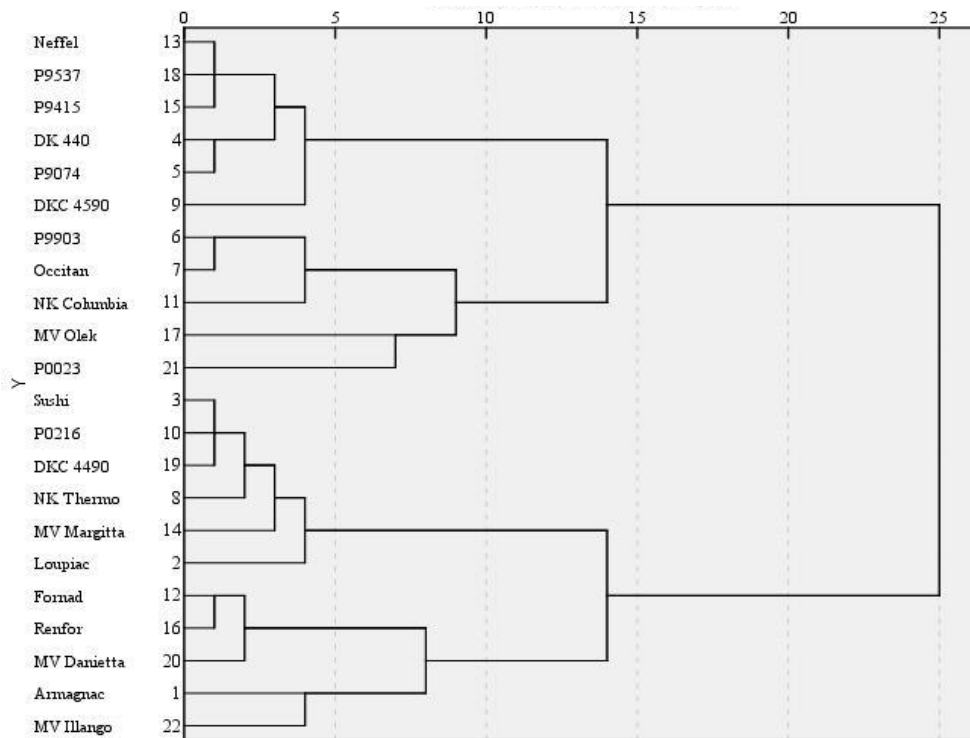
A legfiatalabb teljesen kifejlett levélnél számított klorofill-a/klorofill-b aránynál szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk az alacsonyabb N szintnél, mint optimális körülmények mellett. A genotípus és N kezelés közötti interakció is jelentős volt. Az

Occitan és a DKC4490 hibrideknél szignifikánsan magasabb volt az arányszám értéke csökkentett N adag mellett. Előbbi hibrid esetén optimális N adag mellett $2,81 \pm 0,04$, míg csökkentett N szint mellett $3,34 \pm 0,10$, továbbá a DKC 4490-nél optimális körülmények mellett $1,96 \pm 0,82$, míg csökkentett N szint mellett $2,84 \pm 0,11$ értéket mértünk. Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kezelések átlagát figyelembe véve szignifikánsan magasabb N tartalmat mértünk a hajtásban (3. ábra), optimális N szint ($4,52\% \pm 0,07$) mellett, mint csökkentett N adagnál ($2,79\% \pm 0,11$).



3. ábra A hajtás nitrogéntartalom (N (%)) (A) széntartalom (C (%)) (B) valamint a C/N arány értékének (C) változása a különböző N kezelésekre (optimális N: opt.N, és negyedére csökkentett N :1/4 N), hatására genotípusonként (Armagnac, Loupiac, Sushi, DK440, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590, P0216, NK Columbia, Fornad, Neffel, MV Margitta, P9415, Renfor, MV Olek, P9537, DKC 4490, MV Danietta, P0023, MV Illango) $n=3$, \pm s.e., a N szintek közötti eltérés: $P \leq 0,05^*$, $P \leq 0,01^{**}$, $P \leq 0,001^{***}$

A kapott eredmények alapján Cluster analízissel csoportokba soroltuk a genotípusokat (4. ábra). Az analízis eredményeként 2 fő halmazt különböztettünk meg, melyek közül az egyikbe a N hiányra érzékeny (Neffel, P9537, P9415, DK 440, P9074, DKC 4590, P9903, Occitan, NK Columbia, MV Olek, P0023), míg a másikba a hatékony N hasznosítással jellemezhető genotípusokat soroltuk (Sushi, P0216, DKC4490, NK Thermo, MV Margitta, Loupiac, Fornad, Renfor, MV Danietta, Armagnac és MV Illango).



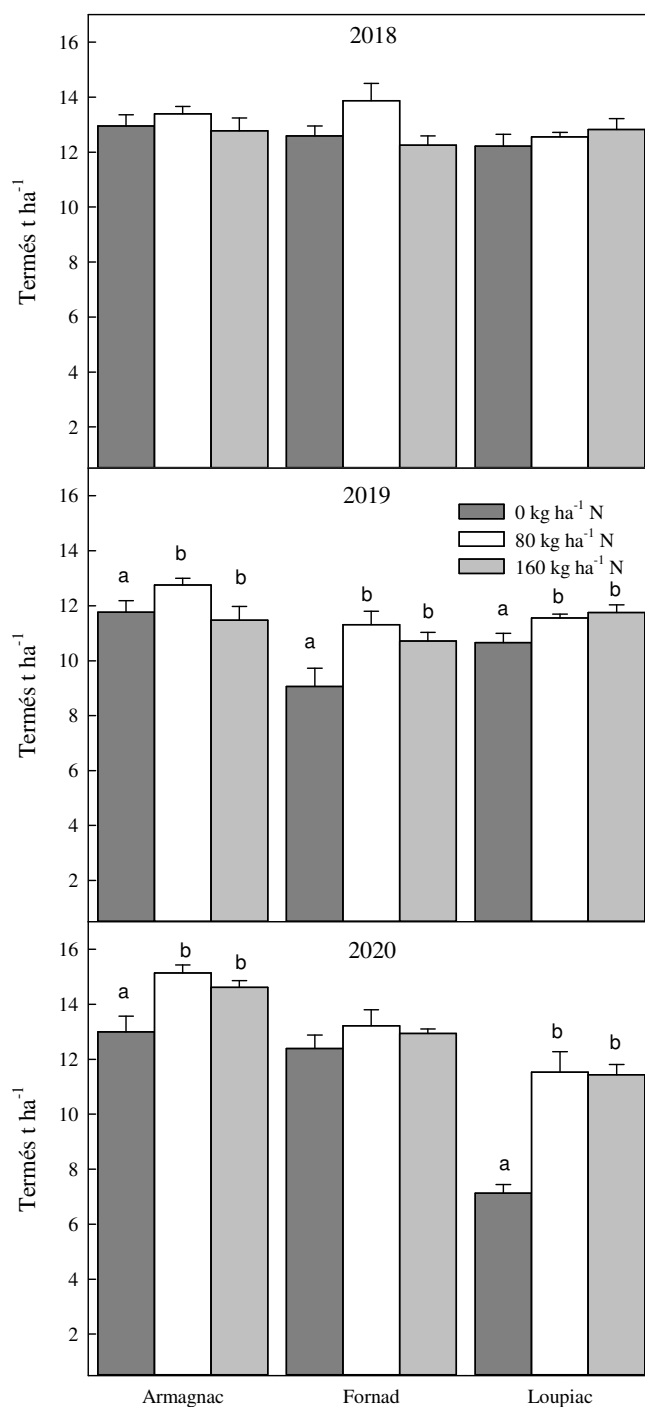
4. ábra A hajtás száraztömeg (g), gyökér száraztömeg (g), hajtás/gyökér arány, SLA ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$), klorofill-a (mg ml^{-1}), klorofill-b (mg ml^{-1}), össz. klorofill (mg ml^{-1}), karotinoid (mg ml^{-1}), klorofill-a/klorofill-b, és klorofill/karotinoid arány, relatív klorofill tartalom, Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo paraméterek alapján végzett Cluster analízis eredmény dendrogramja

A szabadföldi kísérletek során, a legkorábbi mérési időpontban (V7) eltérő eredményeket tapasztaltunk a vizsgált évjáratokban. Az első évben (2018) a V7-ben végzett méréskor a 160 kg ha^{-1} N adag jelentősen csökkentette több vizsgált paraméter értékét is, így valószínűleg ekkor a nagyobb N adag már depresszív hatással volt a növényekre. Erre példa a SPAD érték, ahol a 160 kg ha^{-1} N adaghoz képest szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a 0 (31,3%) és a 80 kg ha^{-1} (22,4%) adagok mellett. A címerhányás állapotában végzett növényállapot felvételezése során rögzített értékek közül többre is szignifikáns hatással voltak kezeléseink. A kezeléseink hatását a vizsgált paraméterekre a kísérlet 3 éve során az 1. táblázatban szemléltetem.

1. táblázat A címerhányás (VT) során mért paraméterek esetén tapasztalt szignifikancia értékének változása a N (0 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 160 kg ha⁻¹) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) a kísérlet 3 évében (2018, 2019, 2020) n=4, ±s.e., szignifikáns különbségek: P≤0,05*, P≤0,01**, P≤0,001***

Paraméter	2018			2019			2020		
	N	Gen.	N x Gen.	N	Gen.	N x Gen.	N	Gen.	N x Gen.
Fo	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fm	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fv	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fv/Fm	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fv/Fo	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Fm/Fo	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Ft	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.
ETR	n.s.	**	*	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Yield	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.
qP	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.
qN	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
Fm'	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
SPAD	**	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kl.-a	***	**	n.s.	***	**	n.s.	**	n.s.	n.s.
Kl.-b	***	**	n.s.	***	**	n.s.	**	n.s.	n.s.
Klorofill	***	**	n.s.	***	**	n.s.	**	n.s.	n.s.
Karotinoid	n.s.	*	n.s.	*	*	n.s.	***	n.s.	n.s.
Klor./kar.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Kl.-a/kl.-b	***	*	n.s.	**	*	n.s.	**	n.s.	n.s.
SLA	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

A címerhányás (VT), a nővirágzás (R1) valamint a szemtelítődés kezdeti időszakában (R2) végzett méréseknél sokkal egyértelműbb tendenciát tapasztaltunk a N kezelések hatásában, mint a korai fenológiai szakaszokban. A drasztikus N megvonás egyértelműen csökkentette a relatív és abszolút klorofill tartalmat. Ezzel szemben a 80 és 160 kg ha⁻¹ adagok között már nem volt kimutatható szignifikáns eltérés. Ebből kifolyólag megállapítható, hogy a fotoszintetikus hatékonyság egyik alappilére – a klorofill tartalom – szempontjából a 160 kg ha⁻¹ N adagtól alacsonyabb szinten található a vizsgált genotípusok N igénye. Ebben a kísérletben minden évben egyértelműen kimutatható volt, hogy növekedett a klorofill-a/klorofill-b arány értéke a N megvonás hatására. A VT fázisban a 3 év átlagában 16,7%, míg az R1 fázisban átlagosan 17,1%-kal nőtt a két pigment arányának értéke a 0 kg ha⁻¹ hatására a 160 kg ha⁻¹ N adaghoz képest. A gyakorlatban is használt, területegységre eső szemtermés mennyisége érdekes értékeket eredményezett (5. ábra).

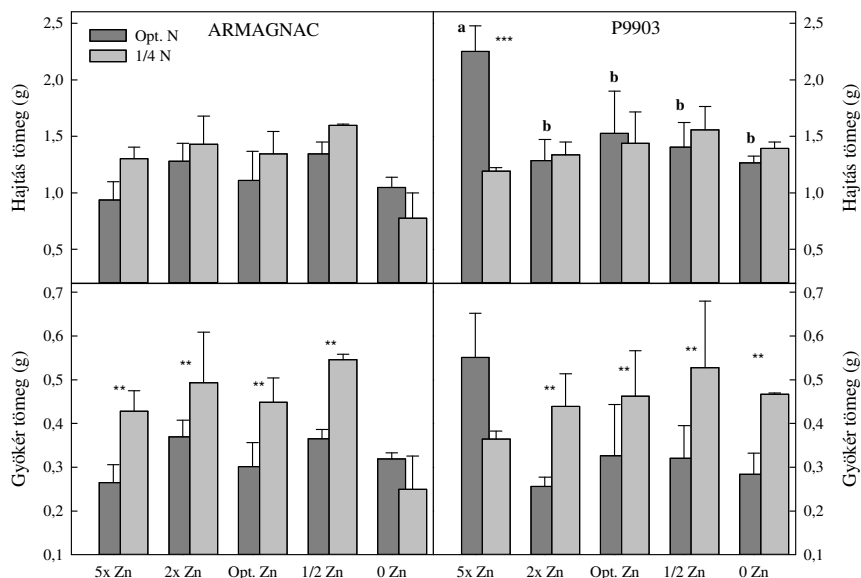


5. ábra A termés mennyiség (t ha⁻¹)értékének változása a N (0 kg ha⁻¹, 80 kg ha⁻¹, 160 kg ha⁻¹) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2018, 2019 és 2020-ban. n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P≤0,05)

Az első kísérleti évben nem tudtunk statisztikailag is igazolható eltérést kimutatni sem a genotípusok, sem pedig N kezelések hatása között, azonban a legmagasabb termés értéket a 80 kg ha⁻¹ N adag mellett mértük (13,3 t ha⁻¹±0,27). A 2019. és 2020. évben is ezt tapasztaltuk, azonban ekkor már az említett N szint értéke, szignifikánsan magasabb

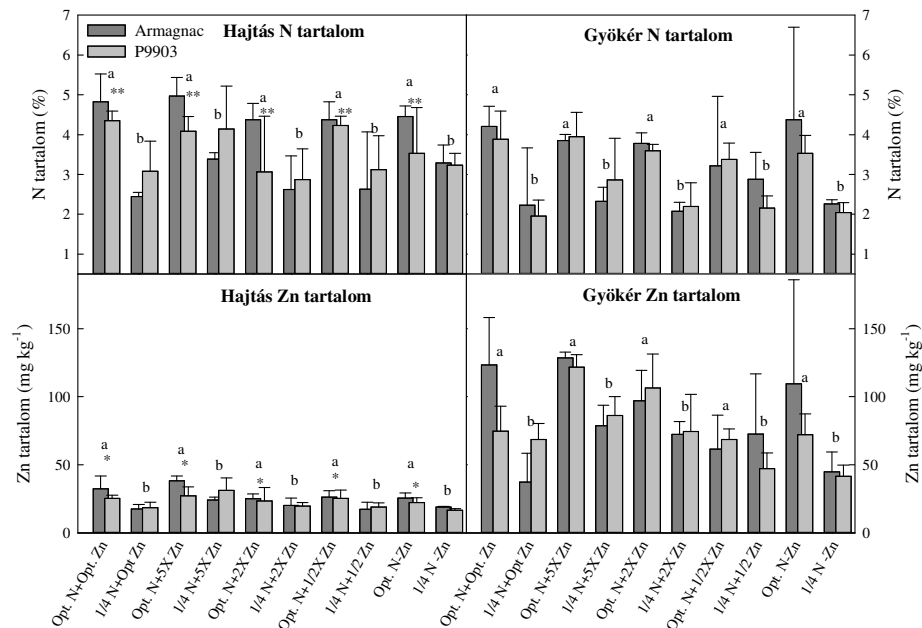
volt a N kijuttatás nélkül kezelt parcellák átlagához képest, a két év átlagában 17,9% termés növekményt eredményezett. Az említett évjáratokban a 160 kg ha⁻¹ adag átlaga is szignifikánsan meghaladta a legalacsonyabb szintet 13,7%-kal a két utóbbi vizsgálati év átlagában, azonban a 80 és a 160 kg ha⁻¹ N adagok között már nem lehetett statisztikailag igazolható eltérést kimutatni, sőt a közepes N adag mellett tendenciáját tekintve magasabb termést mértünk, mint a legmagasabb N adagnál.

Kontrollált kísérletek során a különböző Zn ellátottsági szintek elsősorban a hajtás és gyökér szárazanyag gyarapodására és a szervek Zn tartalmára gyakoroltak hatást. A hajtás szárazanyag tömege csupán az ötszörösére növelt Zn adag és csak a P9903 hibridnél növekedett szignifikánsan (89,1%) a csökkentett N adaghoz képest (6. ábra).



6. ábra A hajtás és gyökér tömeg (g) értékének változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszeresére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (1/2 Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn)) kezelésekre genotípusonként (Armagnac, P9903) n=3, ±s.e., különbségek a N szintek között: P≤0,05*, P≤0,01**, P≤0,001***, különbségek a Zn szintek között a,b (P≤0,05)

Optimális N adag mellett az említett, ötszörös Zn adag mellett mért érték szignifikánsan magasabb volt a többi Zn szinthez képest (P≤0,001), mely élénk tápanyag-reakciónak tekinthető.



7. ábra A hajtás és gyökér N (m/m %) és Zn (mg kg^{-1}) tartalmának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: $\frac{1}{4}$ N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszeresére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére ($\frac{1}{2}$ Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn)) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) $n=3$, \pm s.e., különbségek a N szintek között: $P \leq 0,05^*$, $P \leq 0,01^{**}$, $P \leq 0,001^{***}$, különbségek a Zn szintek között a,b,c ($P \leq 0,05$)

A hajtás Zn tartalma és a Zn kezelések közül csak az ötszörös adagnál emelkedett szignifikánsan a többi Zn szinthez képest ($P \leq 0,001$). A gyökér N tartalma nem függött sem a genotípustól sem pedig a Zn adagoktól, azonban optimális N adagnál ($3,78\% \pm 0,16$) jelentősen magasabb N tartalmat tapasztaltunk, mint a csökkentett N adag mellett ($2,30\% \pm 0,12$), ahogy az várható volt. Az ötszörös és kétszeres Zn adagok hatására jelentősen nőtt a gyökér Zn tartalma, de az említett két szint között már nem volt kimutatható eltérés. Az optimális N ellátás elősegítette a Zn felvételét, ugyanis optimális N adag mellett átlagosan 33,6%-kal, magasabb Zn tartalmat mértünk a hajtásban és a gyökérben is (7. ábra). A fotoszintetikus pigmentek közül a relatív klorofill tartalomnál (SPAD érték) átlagosan a P9903-nál ($36,1 \pm 0,64$) magasabb értéket mértünk, mint az Armagnacnál ($29,6 \pm 0,82$). A Zn hatása nem volt kimutatható, azonban a N és a genotípus hatása eltérő volt, mivel az Armagnacnál nem lehetett kimutatni egyértelműen a N megvonás hatását, a P9903 pedig érzékenyen reagált rá. Általánosan magasabb össz. klorofill ($14,8 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,56$) és karotinoid ($3,03 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,10$) tartalmat tapasztaltunk a P9903-nál (2. táblázat). A Zn kezelések fitotoxikus tüneteket nem eredményeztek, és mivel a rendelkezésre álló nagyobb Zn adagot képesek voltak felvenni a növények, az később a generatív részekbe transzlokálódva alkalmas lehet magasabb biológiai értékű termés létrehozására.

2. táblázat A fiatalabb (5.) és idősebb (3.) levelek klorofill-a, klorofill-b, teljes klorofill és karotinoid tartalmának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: ¼ N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszeresére (2xZn) emelt, optimális (Opt. Zn) valamint felére (1/2 Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn)) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) n=3, ±s.e., szignifikáns különbségek: P≤0,05*, P≤0,01**, P≤0,001***

	Klorofill-a	Klorofill-b	Teljes klorofill	Teljes karotinoid	Klorofill-a/klorofill-b	Klorofill/karotinoid
genotípus	***	***	***	***	n.s.	n.s.
N	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	***
Zn	***	***	**	**	n.s.	n.s.
3. levél						
genotípus X N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genotípus X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
N X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genotípus X N X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genotípus	***	***	***	***	***	n.s.
N	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	***
Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
5. levél						
genotípus X N	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	***
genotípus X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
N X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
genotípus X N X Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

A szántóföldi kísérleteknél a korai fejlődési stádiumban még nem történt meg a Zn kezelés, így lehetőségünk adódott a N hasznosítási kísérlet során kiválasztott két genotípus tulajdonságainak szántóföldi körülmények melletti vizsgálatára, korai fenológiai szakaszban. A kísérlet első évében nem voltak hatással a kezeléseink egyik vizsgált paraméterre sem, ez egyfelől a kedvező időjárási tényezőknek, másfelől a talaj kedvező állapotának tulajdonítható. A kísérlet második évétől kezdve már a korai fejlettségi állapotban is kimutatható volt a csökkentett N ellátás és a genotípusok hatása is, mivel N kijuttatás elhagyásával szignifikánsan csökkent (8,65%) a klorofill-a értéke a P9903 genotípusnál. A második mintavételi időpontban a 2019. évi tenyészidőszakon belül, a legtöbb vizsgált paraméterre nem voltak szignifikáns hatással az alkalmazott kezelések. Ez alól kivétel a SPAD értéke, mely esetében szignifikánsan magasabb értéket észleltünk a P9903 (58,8±0,92) hibridnél, mint az Armagnacnál (56,3±0,85). Ugyanebben a mintavételi időpontban a 2020. évi tenyészidőszakban hasonló tendenciát

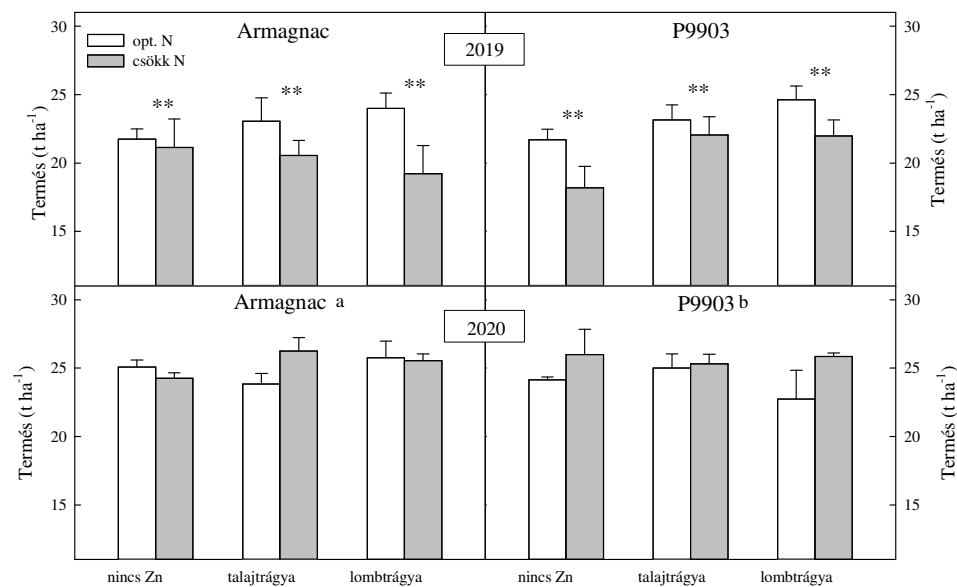
észleltünk. A SPAD érték tekintetében szignifikánsan magasabb volt az érték a P9903 (61,2±0,85) hibridnél, mint az Armagnacnál (58,7±1,04). Szignifikáns eltérést (11,2%) tapasztaltunk az optimális N adag hatására a csökkentett N adaghoz képest, a P9903 hibrid, levéltrágyaként kijuttatott kezelése esetén. A 2019. évi tenyészidőszakban, harmadik mintavétel alkalmával, csak klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereiben alakult ki szignifikáns eltérés a kezeléseink hatására (3. táblázat).

3. táblázat A nővirágzás (R1) állapotban tapasztalt Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fm/Fo, Fv/Fo, Ft, ETR, Yield, qP, qN, Fm' értékek változása a N (opt. N: 160 kg ha⁻¹), csökk. N adag: 40 kg ha⁻¹) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a 2019. évben n=3, ±s.e. a szignifikáns hatás: P≤0,05*, P≤0,01**, P≤0,001***

2019	Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Fm/Fo	Fv/Fo	Ft	ETR	Yield	qP	qN	Fm'
N	n.s.	n.s.	*	**	**	**	n.s.	n.s.	*	*	***	***
Zn	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Genotípus	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	*
N X Genotípus	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
N X Zn	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Zn X Genotípus	n.s.	*	*	*	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
N X Zn X Genotípus	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

A 2020. évben más tendenciát tapasztaltunk. A klorofill-a (4,42%), klorofill-b (10,5%), és a teljes klorofill tartalom (6,38%) is szignifikánsan csökkent a N megvonás hatására. A karotinoid tartalom esetében szignifikánsan magasabb értéket mértünk a P9903 hibrid talajra juttatott Zn-vel kezelt parcelláin (4,12±0,14 mg ml⁻¹) mint az ugyanígy kezelt Armagnac hibrid esetében (3,45±0,22 mg ml⁻¹). A klorofill-a/ klorofill-b arány szignifikánsan magasabb volt csökkentett N szint mellett (2,31±0,07) mint optimális adag esetén (2,12±0,04). A SPAD érték szignifikánsan magasabb (6,77%) volt a P9903 esetében. A fluoreszcencia paramétereknél, a 2020. évi tenyészidőszakban és az R1 fázisban nem okozott statisztikailag igazolható eltérést egyik kezelés sem, a vizsgált paraméterekben. A kísérlet első évében jelentősen magasabb (2,5 t ha⁻¹) termést mértünk optimális N adag mellett átlagosan, ahogy az várható volt (8. ábra). Szignifikáns termés különbséget a második évben már nem tapasztaltuk sem a N szintek, sem a genotípusok, sem pedig a Zn kezeléseik között. A kísérlet alapján megállapítható, hogy a genotípusok

között eltérés mutatható ki, mely alátámasztja a korábbi kísérletek során felállított paraméter rendszer alkalmazását. Továbbá ekkor a Zn kezelések hatása önmagában nem eredményezett jelentős eltérést a vizsgált paraméterekben. Bár több esetben is interakciót találtunk a Zn és N vagy a Zn és genotípusok hatása között, ez nem mutatott egyértelmű tendenciát.



8. ábra A fiziológiai érettségkor (R6) tapasztalt termés (t ha⁻¹) értékének változása a N ((opt. N: 160 kg ha⁻¹), csökk. (N adag: 40 kg ha⁻¹)) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet két évében (2019, 2020) n=3, \pm s.e., különbségek a N szintek között: $P \leq 0,05^*$, $P \leq 0,01^{**}$, $P \leq 0,001^{***}$, különbségek a genotípusok között: a,b ($P \leq 0,05$)

Eredményeinket összefoglalva egyértelműen alátámasztottuk a genotípus, mint tényező jelentőségét a növénytermesztési rendszerekben a tápanyaggazdálkodás tekintetében is. A kedvező N hasznosítással rendelkező kukorica genotípusok a jövőben fontos szerepet tölthetnek be az intenzív és extenzív szántóföldi növénytermesztésben is. Vizsgálataink alapkutatói eredményeket biztosítanak az alkalmazott kutatások, valamint a növénynevelők számára, továbbá ugyancsak figyelembe veszik a klímaváltozás és a globális élelmezési problémák által a növénytermesztéssel szemben támasztott igényeket is. Elsősorban olyan *in vivo* és *in situ* körülmények között felvehető paraméterek azonosítására törekedtünk, melyek felhasználásával közvetlen és közvetett eszközt adhatunk a precíziós növénytermesztés számára.

4. AZ ÉRTEKEZÉS ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEI

1. A laboratóriumi kísérletünkben vizsgált paraméterek alapján hatékonyan tudtuk jellemezni a vizsgált genotípusokat, nitrogénhiánnyal szembeni érzékenység aspektusából. A paraméterek közül kiemelendő a hajtás szárazanyag tömeg értéke, mely átlagosan 30,5%-kal csökkent a N megvonás hatására. Az SLA érték növekedése jól jelezte a N megvonás tüneteit, míg a SPAD érték szignifikánsan ($P < 0,001$) csökkent, valamint a paraméter eltérő mértékben változott a különböző vizsgált leveleken. A relatív klorofill tartalom mellett a teljes klorofill tartalom is szignifikánsan (42,8%) csökkent az alacsony N adaggal kezelt növényeknél. Elmondható, hogy az általunk alkalmazott paraméterrendszer alkalmazható, egy-egy adott genotípus nitrogénhasznosításának jellemzésére, amit a szántóföldi eredményeink is alátámasztanak.
2. A vizsgált fiziológiai jellemzők alapján a genotípusokat N hiányra érzékeny és hatékony N hasznosítással jellemezhető csoportokba soroltuk. Az érzékeny csoportba soroltuk a Neffel, P9537, P9415, DK 440, P9074, DKC 4590, P9903, Occitan, NK Columbia, MV Olek, P0023 hibrideket. Míg a hatékony csoportba került a Sushi, P0216, DKC4490, NK Thermo, MV Margitta, Loupiac, Fornad, Renfor, MV Danietta, Armagnac és az MV Illango. A szabadföldi N hasznosítási kísérletben alkalmazott kukorica hibridek, bár több vizsgált növényfiziológiai paraméterben is eltérő módon reagáltak a kezeléseinkre, mégis egyértelműen értelmezhető tendenciát nem fedeztünk fel a genotípusok csökkentett N adagolásra adott válaszreakcióiban. Tekintve, hogy a vizsgált három hibrid (Armagnac, Fornad, Loupiac) a N hiányra kevésbé érzékeny genotípusok közé tartozott, előre jelezhető volt, hogy kisebb mértékű eltérés fog adódni közöttük. Szántóföldi körülmények között javaslom a vizsgált hároméves periódustól hosszabb időtartamú kísérletek beállítását, eltérő agroökológiai feltételek mellett, ezzel elősegítve a genotípusok N hasznosításának tekintetében történő, pontos következtetések levonását.
3. A vizsgált eltérő N hasznosítási hatékonyságú kukorica genotípusoknál a Zn felvételére nem gyakorolt számottevő hatást a N adagolás, azonban a Zn felvétele javult az optimális N kezelés mellett, mivel ekkor átlagosan kilogrammonként 6,8 mg-mal (+33,5%) több Zn-t tartalmazott a hajtás, míg a gyökér esetében ez a különbség közel 34 mg (+54,5%) volt.
4. A laboratóriumi körülmények között alkalmazott Zn adagok nem váltottak ki jelentős hatást a növényélettani folyamatokban, a vizsgált hibrideknél, a korai fejlettségi

szakaszban, azonban a többlet cinket felvették a növények, amit az elemtartalom vizsgálatok is egyértelműen kimutattak. Az ötszörösére emelt Zn adag a gyökér esetében 27,7 mg, míg a hajtásnál 6,8 mg Zn többletet eredményezett az optimális Zn szinten mért értékhez viszonyítva. Szabadföldi körülmények között, a Zn se talaj sem pedig levéltrágyaként alkalmazva sem okozott szignifikáns hatást a legtöbb vizsgált növényélettani paraméterben, sem pedig a termésmennyiségben, kedvező cinkellátottságú talajon. A szabadföldi N-Zn kölcsönhatási kísérletben, az első évben több paraméter értéke is csökkent az alacsonyabb N szint hatására, azonban a P9903 összességében érzékenyebben reagált, mint az Armagnac. A kísérlet során alkalmazott N kezelés közel azonos mértékben csökkentette a termést mind a két évjáratban, azonban szignifikáns hatást csak az első évben találtunk a N kezelés hatására, amikor 11% (2,5 t) terméskiesést eredményezett a 40 kg ha⁻¹ N szint hektáronként.

5. Az Armagnac Fornad és Loupiac genotípusoknál, szántóföldön a három vizsgálati évben a N kijuttatás teljes elmulasztása egyértelműen kedvezőtlen hatást gyakorolt a növényélettani paraméterekre és a gazdasági értelemben vett termésre is, mivel a 80 és 160 kg ha⁻¹ N adagokhoz képest 11,9%, és 8,13% terméskiesés indukálódott. Ellenben 80 és 160 kg ha⁻¹ N adag hatása között nem volt kimutatható szignifikáns eltérés. Ezért megállapítható, hogy a vizsgált hibridek 12 t ha⁻¹ termés mennyiség eléréséhez az említett körülmények között 80 kg ha⁻¹ N műtrágyát igényeltek.
6. A csökkentett N adagolás hatására a klorofill-a/klorofill-b arány értéke növekedett, a klorofill-b mennyisége jelentősebb mértékben csökkent, mint a klorofill-a, azaz a klorofill-b molekulák érzékenyebben reagáltak a N hiányra.

5. AZ EREDMÉNYEK GYAKORLATI HASZNOSÍTHATÓSÁGA

1. A kísérleteink egyik fő konklúziója, hogy a klorofill-b mennyisége érzékenyebben reagál a N megvonásra. A legtöbb klorofill mérő eszköz egy átlagos zöld szín csökkenést érzékel. Eredményeink szerint a N hiány detektálására alkalmasabb lenne olyan eszköz fejlesztése, mely a klorofill-b szintartományának változásait érzékeli. Egy ilyen eszközzel, hatékonyabban, és hamarabb érzékelhetnénk az esetleges N hiányt ezzel lehetőséget adva a szükséges agrotechnikai beavatkozások elvégzésre. A klorofill-b tartalom műszeres, non-destruktív mérése a precíziós mezőgazdaság számára használható és fontos paraméter lehet.
2. A laborkísérlet során vizsgált növényélettani és növénymorfológiai tényezők alapján felállított paraméterek alkalmasnak bizonyult a kukorica növények nitrogén hasznosítási hatékonyságának jellemzésére.
3. A többlet Zn adagolás sem szántóföldi, sem pedig laboratóriumi körülmények mellett nem eredményezett egyértelmű hatást az élettani paraméterekben- Azonban a vizsgálataink eredményei azt mutatják, hogy a növények akkumulálták az akár ötszörösére növelt Zn mennyiséget is, annak ellenére. A kísérletünk során alkalmazott 4 l ha^{-1} adagban alkalmazott 3% hatóanyag tartalmú ZnSO_4 kijuttatása kedvező hatást gyakorolhat a termésminőségre illetve nem okoz jelentős gazdasági megterhelést, amennyiben más agrotechnikai eljárással egy menetben juttatjuk ki.
4. A N műtrágyázás elhagyása szignifikáns csökkenést eredményezett a legtöbb vizsgált paraméterben, ezért ennek a műveletnek a kihagyása az adott körülmények között nem indokolt. Azonban az általunk vizsgált genotípusoknál már nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a vizsgált 80 és 160 kg ha^{-1} N hatóanyag adag között sem a termés mennyiség tekintetében. Az adott kiemelkedő N hasznosítási hatékonysággal rendelkező kukorica genotípusok, jó kultúrállapotú talajon történő termesztése során nem indokolt $80-100 \text{ kg ha}^{-1}$ N hatóanyagnál magasabb N adag kijuttatása. Az említett adagon túli kijuttatás, az egyre gyakrabban előforduló időjárási szélsőségek, és az egyre dráguló előállítási költségek miatt, jelentős ökonómiai és ökológiai kockázattal jár.

6. IRODALOMJEGYZÉK

- Bagnouls, F. – Gaussen, H. 1953. Les climats biologiques et leur classification. Annales De Geographie. 355: 193-220.
- Garnier, E. – Shipley, B. – Roumet, C. – Laurent, G. 2001. A standardized Protocol for the determination of specific leaf area and leaf dry matter content. Functional Ecology. 15.5: 688-695.
- Hanway, J. J. 1963. Growth stages of corn. Agronomy Journal. 55: 487-492.
- Moran, R. – Porath, D. 1980. Chlorophyll determination in intact tissues using *N,N*-Dimethylformamide, Plant Physiology. 65. 3: 478-479.
- Wellburn, A. R. 1994.: The Spectral determination of chlorophylls a and b, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. Journal of Plant Physiology. 144.3: 307-313.

7. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN



**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/354/2022.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Simkó Attila
Doktori Iskola: Kerpely Kálmán Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10064204

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

1. **Simkó, A.**, Bodnár, K. B., Veres, S.: A SPAD és az NDVI értékek alkalmazhatóságának vizsgálata a relatív klorofilltartalom függvényében kukoricánál.
Növénytermelés. 67 (2), 45-56, 2018. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

2. **Simkó, A.**, Basal, O., Zsombik, L., Veres, S.: Effect of nitrogen deficiency and fusarium graminearum infection on relative chlorophyll content of maize seedlings.
Rev. Agric. Rural Dev. 10 (1-2), 52-58, 2021. ISSN: 2677-0792.
DOI: <http://dx.doi.org/10.14232/rard.2021.1-2.52-58>
3. **Simkó, A.**, Veres, S.: Evaluation of the correlation between SPAD readings and absolute chlorophyll content of maize under different nitrogen supply conditions.
Agrártud. Közl. 2, 121-126, 2019. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/2/3689>
4. **Simkó, A.**, Veres, S.: Variability examination of photosynthetic pigment content and specific leaf area in individual maize (*Zea mays* L.) plants.
Agrártud. Közl. 74, 153-157, 2018. ISSN: 1587-1282.
DOI: <http://dx.doi.org/10.34101/actaagrar/74/1681>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (1)

5. **Simkó, A.**, Gáspár, S., Kiss, L., Makleit, P., Veres, S.: Evaluation of Nitrogen Nutrition in Diminishing Water Deficiency at Different Growth Stages of Maize by Chlorophyll Fluorescence Parameters.
Plants. 9 (6), 1-13, 2020. ISSN: 2223-7747.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/plants9060676>
IF: 3.935





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

6. Veres, S., **Simkó, A.**: Fotokémia aktivitás változásának vizsgálata kukoricán.
Növénytermelés. 67 (2), 75-86, 2018. ISSN: 0546-8191.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

7. Veres, S., **Simkó, A.**, Kiss, L., Zsombik, L.: Wheat genotype under reduced nitrogen supply: changes in chlorophyll fluorescence parameters.
Columella. 4 (1), 53-58, 2017. ISSN: 2064-7816.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18380/SZIE.COLUM.2017.4.1.suppl>

Magyar nyelvű konferencia közlemények (4)

8. **Simkó, A.**, Veres, S.: Kukorica hibridek klorofill tartalmának változása változó cink- és nitrogénellátás hatására = Changes of chlorophyll content of maize hybrids for the effect of different zinc and nitrogen supply.
In: LXVII. Georgikon Napok konferenciakötet : A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben. Szerk.: Lukács Gábor, Szanati Angéla, Szent István Egyetem, Georgikon Kar, Keszthely, 370-377, 2021. ISBN: 9789632699424
9. Duzs, L., Ragán, P., Nagy, J., Kith, K., Széles, A., **Simkó, A.**, Rátonyi, T.: Tápanyag-gazdálkodás a növények relatív klorofilltartalmának figyelembe vételével.
In: Prega Science 2020 Scientific Conference on Precision Agriculture & Agro-Informatics, [Agroinform Média Kft.], [Budapest], 1-3, 2021.
10. Veres, S., Makleit, P., Csajbók, J., Gáspár, S., **Simkó, A.**, Fári, M.: Lucerna genotípusok fiziológiai sokféleségének értékelése Physiological values of different lucerne (Medicago sativa L.) genotypes.
In: LIX. Georgikon Napok Konferenciakiadványa : A múlt mérföldkövei és a jövő kihívásai: 220 éves a Georgikon. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 580-584, 2017. ISBN: 9789639639898
11. **Simkó, A.**, Kiss, L., Zsombik, L., Veres, S.: Csökkentett nitrogén ellátás hatása búza genotípusok fotoszintetikus válaszreakcióira.
In: Felmelegedés Ökolábnym Élelmiszerbiztonság : [elektronikus dokumentum] : LVIII. Georgikon Napok. 2016. szeptember 29-30, Keszthely. Szerk.: Nagy Zita Barbara, Pannon Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 327-333, 2016. ISBN: 9789639639850





Idegen nyelvű absztrakt kiadványok (9)

12. **Simkó, A.**, Veres, S.: Variable nitrogen and zinc nutrition effects on relative chlorophyll content of different maize genotypes.
In: 19th Wellmann International Scientific Conference : Book of abstract. Ed.: Kiss Orsolya, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 76, 2022. ISBN: 9789633068601
13. **Simkó, A.**, Basal, O., Zsombik, L., Veres, S.: Effect of nitrogen deficiency and fusarium graminearum infection on relative chlorophyll content of maize seedlings.
In: 18th Wellmann International Scientific Conference : Book of abstract. Ed.: Kiss Orsolya, University of Szeged Faculty of Agriculture, Hódmezővásárhely, 66-66, 2021. ISBN: 9789633067901
14. **Simkó, A.**, Veres, S.: Changes of chlorophyll content of maize hybrids for the effect of different zinc and nitrogen supply.
In: 62. Georgikon Napok : A klímaváltozás kihívásai a következő évtizedekben : Előadások kivonatai. Szerk.: Lukács Gábor, Kormos Éva, Szent István Egyetem Georgikon Kar, Keszthely, 91-91, 2020. ISBN: 9789632699417
15. **Simkó, A.**, Veres, S.: Single and complex influence of nitrogen and water supply on different maize hybrids production.
In: 2nd Conference on Long-Term Field Experiments on the 90th anniversary of Westsik's experiment : proceedings book. Ed.: Makádi Marianna, Debreceni Egyetem AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet, Nyíregyháza, 121-122, 2019. ISBN: 9789634901488
16. **Simkó, A.**, Veres, S.: Estimation of nitrogen mobility effectiveness in maize genotypes.
In: Abstract book of the 17th Alps-Adria Scientific Workshop. Ed.: Zoltán Kende, Szent István Egyetem, Gödöllő, 166-167, 2018. ISBN: 9789632697345
17. Veres, S., **Simkó, A.**: Maize Genotypes Resilience to Reduced Nitrogen Supply Based on Chlorophyll Fluorescence Parameters.
In: XV European Society for Agronomy Congress; ESA2018. Ed.: Christoph Carlen, MDPI AG, Geneva, 111, 2018.
18. **Simkó, A.**, Veres, S.: Monitoring Plant Conditions Based on Measuring Photosynthetic Pigments by Different Way.
In: XV. European Society for Agronomy Congress; ESA2018. Ed.: Christoph Carlen, MDPI AG, Geneva, 100, 2018.
19. **Simkó, A.**, Bodnár, B. K., Veres, S.: Investigation of NDVI index and SPAD value in relation to chlorophyll content in maize.
In: International Conference on Long-term Field Experiments (LOTEX 2017) : Proceedings of Abstracts. Ed.: Makádi Marianna, University of Debrecen, Institutes for Agricultural Research and Educational Farm, Research Institute of Nyíregyháza, Nyíregyháza, 37, 2017. ISBN: 9789634739739





20. Veres, S., **Simkó, A.**: Studies on photochemical activity changes in maize.
In: International Conference on Long-term Field Experiments (LOTEX 2017) : Proceedings of Abstracts. Ed.: Makádi Marianna, University of Debrecen, Institutes for Abicultural Research and Educational Farm, Research Institute of Nyíregyháza, Nyíregyháza, 36, 2017. ISBN: 9789634739739

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (2)

21. **Simkó, A.**, Veres, S.: A kukorica fuzáriózisa és a nitrogénellátás összefüggései.
Mezőhír. 2021 (8), 36-37, 2021. ISSN: 1587-060X.
22. **Simkó, A.**, Veres, S.: A cink- és nitrogén-ellátás összefüggései.
Magy. Mezőgazd. 74 (14), 14-15, 2019. ISSN: 0025-018X.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 3,935

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre): 3,935

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, 2022.07.01.

