

DEBRECENI EGYETEM

**KERPELY KÁLMÁN DOKTORI ISKOLA**

*Doktori Iskola vezető:*

Prof. Dr. Holb Imre  
egyetemi tanár, az MTA doktora

*Témavezető:*

**Prof. Dr. Veres Szilvia**  
egyetemi tanár

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

*Készítette:*

**Simkó Attila**  
doktorjelölt

**Debrecen 2022**

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

Értekezés a doktori (PhD) fokozat megszerzése érdekében  
a növénytermesztési és kertészeti tudományágban

Írta: **SIMKÓ ATTILA** okleveles agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskolája  
Növénytermesztési programja keretében

Témavezető: Prof. Dr. Veres Szilvia egyetemi tanár

**Az értekezés bírálói:**

név	fokozat	aláírás
_____	_____	_____
_____	_____	_____

**A bírálóbizottság:**

	név	fokozat	aláírás
elnök:	_____	_____	_____
tag:	_____	_____	_____
titkár:	_____	_____	_____

Az értekezés védésének időpontja: 20... . . . . .

## TARTALOMJEGYZÉK

<b>1. BEVEZETÉS</b> .....	4
<b>2. CÉLKITŰZÉS</b> .....	5
<b>3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS</b> .....	6
<b>3.1. A nitrogén mint műtrágya</b> .....	6
<b>3.2. A nitrogén tartalom változása a növényen belül</b> .....	8
<b>3.3. A nitrogén hiánya és többlete a növényekben</b> .....	9
<b>3.4. A nitrogén hasznosítási hatékonyság</b> .....	14
<b>3.5. A cink szerepe a növényfiziológiai folyamatokban</b> .....	23
<b>3.6. A cink- és nitrogénellátás kapcsolata</b> .....	32
<b>4. ANYAG ÉS MÓDSZER</b> .....	35
<b>4.1. Kontrollált kísérleti körülmények</b> .....	35
<b>4.2. Szabadföldi kísérleti körülmények</b> .....	37
<b>4.3. Vizsgálati módszerek</b> .....	41
<b>4.3.1. Szárazanyagtartalom vizsgálata</b> .....	41
<b>4.3.2. Specifikus levélterület vizsgálata</b> .....	41
<b>4.3.3. Relatív klorofill tartalom vizsgálata</b> .....	42
<b>4.3.4. Fotoszintetikus pigmentek kvalitatív és kvantitatív vizsgálata</b> .....	43
<b>4.3.5. Fotoszintetikus aktivitás vizsgálata</b> .....	43
<b>4.3.6. A termés mennyiség meghatározása</b> .....	46
<b>4.3.7. A termés beltartalmi paraméterek mérése</b> .....	46
<b>4.3.8. A hajtás és gyökér szén, nitrogén és cink tartalmának meghatározása</b> .....	46
<b>4.3.9. Az időjárási adatok elemzése</b> .....	47
<b>4.4. Statisztikai értékelés</b> .....	50
<b>5. EREDMÉNYEK</b> .....	51
<b>5.1. A nitrogén hasznosítási hatékonyság vizsgálata kontrollált kísérletben</b> .....	51
<b>5.1.1. A kezelések hatása a szárazanyag gyarapodásra</b> .....	51
<b>5.1.2. A kezelések hatása a fotoszintetikus pigmentekre</b> .....	54
<b>5.1.3. A kezelések hatása a klorofill-fluoreszcencia indukció módszer paramétereire</b> .....	59
<b>5.1.4. A hajtás és a gyökér szén és nitrogén tartalma</b> .....	63
<b>5.1.5. A genotípusok csoportosítása</b> .....	65
<b>5.2. A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított kontrollált kísérlet</b> .....	66
<b>5.2.1. A kezelések hatása a szárazanyag tartalomra</b> .....	66
<b>5.2.2. A kezelések hatása a szövetek nitrogén és cink tartalmára</b> .....	68
<b>5.2.3. A kezelések hatása a fotoszintetikus pigmentekre</b> .....	70
<b>5.2.4. A kezelések hatása a klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire</b> .....	75
<b>5.3. A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított szántóföldi kísérlet</b> .....	78

5.3.1. Hét leveles (V7) állapot .....	78
5.3.2. Címerhányás (VT) állapot.....	79
5.3.3. Nővirágzás (R1) állapot .....	82
5.3.4. Szemtelítődés kezdete (R2) állapot .....	84
5.3.5. Fiziológiai érettség (R6) állapot .....	85
5.4. A nitrogén hasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított szántóföldi kísérlet.....	87
5.4.1. Hét leveles (V7) állapot .....	87
5.4.2. Címerhányás (VT) állapot.....	90
5.4.3. Nővirágzás (R1) állapot .....	96
5.4.4. Szemtelítődés kezdete (R2) állapot .....	103
5.4.5. Fiziológiai érettség (R6) állapot .....	104
<b>6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK.....</b>	<b>108</b>
<b>7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK .....</b>	<b>117</b>
<b>8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK.....</b>	<b>119</b>
<b>9. ÖSSZEFOGLALÁS.....</b>	<b>120</b>
<b>10. SUMMARY .....</b>	<b>122</b>
<b>11. RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE.....</b>	<b>124</b>
<b>12. IRODALOMJEGYZÉK.....</b>	<b>125</b>
<b>13. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS .....</b>	<b>145</b>
<b>14. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN .....</b>	<b>146</b>
<b>15. NYILATKOZATOK .....</b>	<b>150</b>

## 1. BEVEZETÉS

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 jobbra, és a gyakorlatban is alkalmazhatóvá tették a precíziós technológiákat, azonban a folyamatos kutatás, az újabb és újabb paraméterek felfedezése nélkülözhetetlenek annak továbbfejlesztéséhez, javításához. Ilyen szempontból különös jelentőséggel bírnak a növényfiziológiai kutatások, melyek a precíziós gazdálkodás technológiai alapját képezik.

## 2. CÉLKITŰZÉS

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

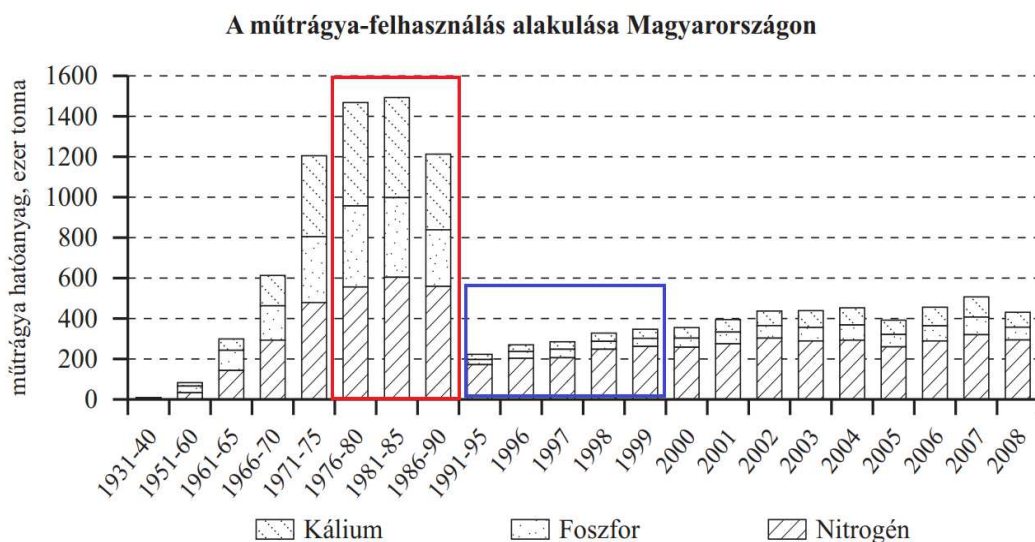
- Kukorica genotípusok eltérő mennyiségű N adagolásra adott növényfiziológiai válaszreakcióinak értékelése.
- Olyan paraméterek azonosítása is a célunk, melynek segítségével jellemezni tudjuk a növényi N hasznosítást, azok eltérő körülmények közötti képlékenységét, az alkalmazkodás határait. Törekedtünk 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 figyelembe veszik a klímaváltozás által a növénytermesztéssel szemben támasztott igényeket is.

### 3. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

#### 3.1. A nitrogén mint műtrágya

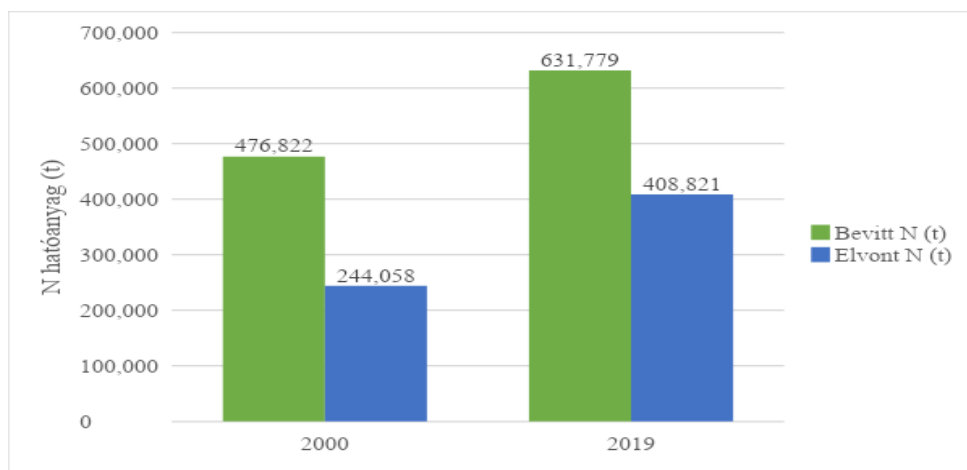
A termésnövelés szempontjából az egyik legjelentősebb beavatkozás a növények műtrágyázása, azon belül pedig a N tartalmú műtrágyák kijuttatása (EVENSON és GOLLIN 2003).



**1. ábra** A hazai műtrágya (Kálium, Foszfór, Nitrogén) felhasználás (ezer t) változása az 1930-as évektől 2008-ig (Forrás: Bojtárné Lukácsik et al. 2009 alapján módosítva)

A hazai műtrágya használat fejlődését három jellemző szakaszra lehet bontani, mégpedig a II. világháborút megelőző szakasz, a szocializmus évei, továbbá a rendszerváltást követő időszak (1. ábra). Hazánkban az 50' évek elejéig minimális volt a műtrágyák felhasználása. Az ezt követő időszakban, a szocializmus alatt, drasztikusan növekedett a műtrágyák felhasználása, 1975 és 1980 között már több mint 1,4 millió tonna hatóanyagot juttattak ki a földekre, melyből közel 600.000 tonna N volt. Az 1980-1985 közötti időszakban a kijuttatott összes hatóanyag mennyisége megközelítette az 1,5 millió tonnát, amin belül már elérte a felhasznált N hatóanyag mennyisége a 600.000 tonnát. Az 1986-1990 közötti időszakban egy viszonylagos csökkenés kezdődött, amely során valamelyest mérséklődtek a kijuttatott műtrágya adagok, azonban a kijuttatott N mennyisége alig változott az ezt megelőző öt év átlagához képest. Az 1990-1995. közötti időszak jelentős változásokat hozott, mind politikai, mind pedig a mezőgazdaság szempontjából. A korábban felhasznált műtrágya adagokat többen fölöslegesnek tekintették, mivel az jelentős környezeti terhelést,

környezetvédelmi problémákat okozott, továbbá az ökonómiai szempontok sem indokolták azt. A 90' évek elején már alig haladta meg a műtrágya felhasználás a 200.000 tonnát. Bár az alkalmazott hatóanyagok közül a N is töredékére csökkent (megközelítőleg 180.000 t) még így is a legjelentősebb hatóanyag maradt. A felhasznált foszfor (P) és kálium (K) hatóanyagok mennyisége még a N-nél is nagyobb mértékben csökkent. A 90' évek elejét követően lassú növekedés kezdődött a műtrágya felhasználásban. Ez a növekedés főként a N hatóanyag felhasználását érintette, de kis mértékben a P és K adagok is emelkedtek.



**2. ábra** A hazai nitrogén hatóanyag kijuttatott és elvont mennyiségének (t) változása 2000 és 2019. években. Forrás: KSH 2021

A nitrogén hatóanyag kijuttatása 2000-ben meghaladta a terméssel és egyéb tényezőkkel elvont mennyiséget (2. ábra). A statisztikai adatok alapján 476.822 t N hatóanyagot juttattunk ki ebben az évben, míg az elvont mennyiség 244.058 t volt. 2019-ben a kijuttatott N hatóanyag mennyisége 631.779 t volt, míg az elvont mennyiség 408.821 t. A bevitt hatóanyag mennyisége a szerves, szerves trágyákból, illetve légköri ülepedésből tevődik össze. Megállapítható, hogy a N hatóanyag szempontjából még mindig a szintetikus forrásból származó műtrágyák a meghatározóak, és a szerves illetve természetes forrásból származó formák kevésbé jelentősek. A N hatóanyag felhasználása világviszonylatban is hasonló tendenciát mutat. A rendelkezésre álló adatok (FAOSTAT, 2017) alapján megállapítható, hogy a világ N alapú műtrágya hatóanyag felhasználása 2002-ben több mint 82,5 millió tonna volt. Ez az érték 2008-ban már meghaladta a 95,5 millió tonnát.

A N az egyik legfontosabb tápelem a növények számára (KRAPP, 2015; BLOOM, 2015). Emellett nagyon fontos tény, hogy a túlzottmértékű N kijuttatás sok problémának

lehet a forrása (GUO et al., 2010). Az állattenyésztési és növénytermesztési rendszerek N és P költségvetéseinek átfogó, területileg explicit jegyzéke azt mutatja, hogy a 20. század elején a tápanyag-gazdálkodás vagy kiegyensúlyozott volt, vagy a kijuttatott tápanyag többlet kicsi volt. Az 1900-1950-es években globális szinten a talaj N többlete majdnem megduplázódott, majd 1950 és 2000 között ez az érték ismét többszörösére nőtt (BOUWMAN et al., 2013). A kijuttatott N mennyiségének nagy része kárba vész és ez sok más tényező mellett, leginkább annak köszönhető, hogy a N a gyökérszónából mélyebb talajzónákba mosódik (ZHAO et al., 2006). A nitrát mélyebb talajrétegbe mosódása veszélyeztetheti a talajvíz készleteket (WANG et al., 2015), valamint a túlzott N kijuttatás felboríthatja a tápelemek egyensúlyát (VITOUSEK et al., 2009). A talajból felvehető tápanyagok közül a N-t igénylik az egyik legnagyobb mennyiségben a növények (TUCKER, 2014). A mennyiségen túl a N kijuttatásának ideje is nagymértékben befolyásolja a termés mennyiséget, mivel annak felvételének mértéke eltérő, a különböző vegetációs szakaszokban, kukorica esetében (CIAMPITTI et al., 2013). A levegő nitrogénjét ( $N_2$ ) inert gázként tartjuk számon, így ahhoz, hogy a növények hasznosítani tudják azt előbb felvehető formává kell alakítani. A növények a N-t annak szerves formái közül, ammónium és nitrát formájában képesek felvenni (CRAWFORD és GLASS, 1998, MASCLAUX-DAUBRESSE et al., 2010). További nitrogénforrást jelenthetnek a szerves nitrogénformák, mint az aminosavak, a növények tápelem ellátásában (JONES és KIELLAND, 2012). A felvett nitrogénformák általában még nem alkalmasak az élettani folyamatokban való részvételre, ezért enzimatikus reakciók során átalakul a növényben (URBANCZYK-WOCHNIAK és FERNIE, 2005). A N hozzáférhetőségét nagymértékben befolyásolják a különböző biotikus és abiotikus tényezők, mint például a talaj fizikai állapota, a csapadék mennyisége, ami a N formák kimosódását okozhatja, továbbá a talajélet, azaz a talajok mikrobiális aktivitása. Az ilyen és ehhez hasonló faktorok miatt a talajban eltérő N ellátottságú részek alakulhatnak ki (MILLER és CRAMER, 2004).

### **3.2. A nitrogén tartalom változása a növényen belül**

A N a felvételét követően a különböző növényi szervekben halmozódhat fel, a vegetatív fejlődés során főként a levelekben és a szárban található a N jelentős része (CLIQUET et al., 1990). A korai fejlettségi fázisokban felvett N legnagyobb része a különböző sejtalkotók felépítésében vesz részt, míg a későbbi fenofázisokban felvett

molekulák leginkább az enzimek fontos alkotó elemei (GALLAIS és COQUE, 2005). E szerzők szerint kukoricában, már a nővirágzás idejében mért teljes növényi tartalom eléri a fiziológiai éréskor tapasztalható N tartalom 50-75%-át. Azaz a növények a virágzás idejére a teljes N tartalom nagy részét már felvették, azonban ez az érték nagymértékben függ az adott genotípus, illetve a környezet adottságaitól. A felvett N 20-30%-a a szár és a gyökér sejtjeinek vakuólmaiban raktározódik (CHEVALIER és SCHRADER, 1977). A virágzást követő időszakban a szentelítődéshez szükséges N alapvetően a gyökéren keresztül felvett N formákból és a különböző vegetatív szervekből történő N elvonásból származik. Ilyenkor eleinte csak a levelekből és a szárból történik elvonás, majd később kukorica esetében a csuhé levelek N tartalma is hozzájárul a szentelítődéshez (CLIQUET et al., 1990). Nem remobilizálódik azonban a levelek és szár teljes N tartalma, mivel továbbra is szükség van a fotoszintézis során keletkező asszimilátumokra, de fokozatos csökkenés figyelhető meg a fotoszintetikus enzimek aktivitásában az öregedéssel párhuzamosan (GALLAIS és COQUE, 2005).

### **3.3. A nitrogén hiánya és többlete a növényekben**

A N több növényélettani folyamatban is kulcsszerepet játszó elem. Fontos szerepe van a ribulóz-1,5-biszfoszfát-karboxiláz-oxigenáz (RuBisCO) enzim felépítésben, a klorofill molekulák is jelentős mennyiségű nitrogént tartalmaznak, továbbá a N fontos építő köve az aminosavaknak, így a fehérjék felépítésében is fontos szerepet kap. Az adenozin-trifoszfát (ATP) molekula is nagy mennyiségű N-t tartalmaz, így a jelentősége a növények energia forgalmában is kiemelt. Az említetteken kívül, a nitrogén fontos szerepet játszik a DNS felépítésében is. BLINDER és munkatársai (2000) kutatásuk során a nitrogénhiány különböző hatásait vizsgálta kukorica növényeken. Eredményeik szerint a 6 leveles korban elhagyott nitrogén adag jelentősen csökkentette a termést, továbbá a későbbi fenofázisban adagolt nitrogén csak az erősen nitrogénhiányos környezetben mérsékelte a termésveszteségeket. UHART és ANDRADE (1995) munkájuk során különböző nitrogén szintek mellett vizsgálták kukorica növényeket, szántóföldi körülmények között. Eredményeik szerint a nitrogénhiány csökkentette a csövenkénti szemszámot, mivel a csökkentett nitrogén adag hatására romlott a szén asszimiláció mértéke. LU és ZHANG (2000) is hasonló eredményeket tapasztalt, mely szerint az alacsonyabb nitrogén adag szignifikánsan csökkentette a növények CO<sub>2</sub> asszimilációját. BLACKMER és munkatársai (1996) kukorica növények nitrogén

hiányra adott válaszreakcióinak vizsgálatára egy elektromágneses hullámok visszaverődésén alapuló mérési módszert alkalmazott. A vizsgálataikhoz öt nitrogén adagot alkalmazott, és a vizsgált módszer alkalmasnak bizonyult a nitrogén hiány jelzésére. ZHAO és munkatársai (2005) szabadtéri tenyészedényes kísérletben vizsgálta a nitrogén hiány hatását cirok növényen. Eredményeik szerint a nitrogén hiány szignifikánsan csökkentette a növények levél felületét, fotoszintetikus rátáját és a klorofill tartalmat, továbbá a nitrogén hiánnyal párhuzamosan csökkent a sztóma konduktancia is. HUANG és munkatársai (2004) munkája során rizsnél vizsgálta a nitrogén hiány hatásait tápoldatos kísérletben. Eredményeik szerint a fotoszintézis mértéke csökkent a nitrogén hiánnyal párhuzamosan, ezzel együtt a sejtek közötti CO<sub>2</sub> koncentráció növekedett. A fotoszintézis csökkenéséhez hasonlóan a klorofill-fluoreszcencia paraméterei (pl.: Fv/Fm érték, elektron transzport ráta, stb.) is alacsonyabbak voltak a kisebb mennyiségű nitrogén adag hatására. RADIN és ACKERSON (1981) kimutatta, hogy összefüggés van a növények vízforgalma és a nitrogén ellátás között. Eredményeik szerint a csökkentett nitrogén adag indukálta a gyapot (*Gossypium hirsutum* L.) növények sztóma záródását és ebből kifolyólag a vízhasznosításuk is megváltozott. A megnövekedett CO<sub>2</sub> koncentráció a sejteken belül, enyhe sztóma-záródást eredményezett, továbbá az abszcizin sav koncentrációja is megemelkedett a csökkent nitrogén adag hatására megnövekedő széndioxid koncentráció okán. CIOMPI és munkatársai (1996) tápoldaton nevelt napraforgóval végzett kísérleteiben kimutatta, hogy a nitrogén hiány hatására a fotoszintézis intenzitása növekedett, a sztóma konduktancia mértéke viszont csökkent. A nitrogén hiány által indukált stresszben szenvedő növények leveleinek keményítő tartalma, valamint a hajtás gyökér arány is szignifikánsan alacsonyabb volt. SHANGGUAN és munkatársai (2000) munkájuk során a nitrogén hiány és aszálystressz hatásait vizsgálták őszi búza növényeken. Eredményei szerint a nitrogén és vízhiány erősen csökkentette a fotoszintetikus hatékonyságot. DING és munkatársai (2005) kutatásuk során, régebbi és újabb nemesítésű kukorica hibridek, nitrogén hiányra való eltérő érzékenységét bizonyították szántóföldi kísérlet során. A csökkentett nitrogén adag hatására a növények betakarításkori tömege és a termés is csökkent, azonban a régebbi hibridek esetében ez nagyobb mértékű volt. A virágzáskori levélfelület és növényi szárazanyag tömeg tekintetében nem tudtak jelentős eltérést kimutatni egyik vizsgált hibridnél sem. A N hiány kedvezőtlen hatása kimutatható volt, a fotoszintetikus aktivitás tekintetében is. Eredményeik szerint általánosan megállapítható, hogy az újabb nemesítésű hibridek

kevésbé voltak érzékenyek a N hiány hatására. Megfelelő vízellátás mellett a nagyobb nitrogén adag, serkentő hatással volt a fotoszintézisre, míg a csökkentett nitrogén adag redukálta annak mértékét. Ezzel szemben az aszályos körülmények között nevelt növényeknél a fotoszintézis hatékonysága rosszabb volt a magasabb nitrogén szint mellett. Az Fv/Fm értékére, azaz a kettes fotorendszer (PSII) potenciális fotokémiai hatékonyságára nem volt szignifikáns hatással a vízhiány, azonban a nitrogén hiány egyértelműen csökkentette ezt az értéket. Továbbá a nitrogén megvonás csökkentette a klorofill tartalmat és növelte a klorofill-a/klorofill-b arányt. GUIDI és munkatársai (1997) szerint, a nitrogén ellátás nem befolyásolta a paradicsom levelek víztartalmát, azonban a sztóma konduktancia, illetve a fotoszintetikus hatékonyság is csökkent. A csökkentett nitrogén adag mellett nevelt növények leveleinek keményítő tartalma növekedett. HALSE és munkatársai már 1969-ben búza növények csökkentett nitrogén ellátásra adott válaszreakcióit vizsgálták. Kutatásuk során alacsony nitrogén tartalmú talajjal rendelkező területen neveltek búza növényeket. Az alkalmazott legnagyobb N adagnál elért terméseredményhez viszonyítva, a közepes adagnál 40%-os, míg a legkisebb esetén 70%-os termés veszteség keletkezett. A N-t nem kapott növényeknél a virágképződés 14 nappal tolódott el a közepes adaghoz képest, továbbá a portokok megjelenése is 8 nappal elcsúszott. MEI és THIMANN (1984) kísérlete során az öregedés jelenségét vizsgálta zab növényen, eltérő nitrogén ellátás mellett. A nitrogén hiányos növények virágzása már 4 leveles állapotban bekövetkezett. Az ilyen, nitrogén hiányos környezetben nevelt növények leveleinek klorofill tartalma kevésbé volt stabil, mint az optimális tápanyag ellátás mellett nevelt növényeknél. Ezzel szemben a fehérje tartalom stabilabb volt, mint a kontrollnál. SCHLÜTER és munkatársai (2012) kukorica növények beltenyésztett vonalainak anyagcsere folyamatait vizsgálta eltérő nitrogén ellátás mellett. A nitrogén hiány csökkentette a nitrát redukciójának mértékét és az aminosav szintézist, ezzel szemben az ammónium asszimilációt nem befolyásolta. A szén asszimilációs folyamatok intenzitása is csökkent nitrogén hiány mellett. DEMOTES-MAINARD és JEUFFROY (2001) több éves tartamkísérletben vizsgálta búza genotípusok nitrogén hiányra adott válaszreakcióit. A területegységre eső szárazanyag mennyisége a kalászban alacsonyabb, míg a területegységre eső nitrogén mennyisége a kalászban magasabb volt, a kielégítő nitrogén ellátással kezelt növényeknél. Az ideiglenes nitrogén hiánynak kitett növényekben a kalász szárazanyagtartalma magasabb, míg a kalász nitrogén tartalma alacsonyabb volt, mint a folyamatos nitrogén megvonással kezelt növényeké. A nitrogén hiány hatása leginkább

az intenzív kalászfajlódást követő időszakban vált jelentőssé. VOUILLOT és DEVIENNE-BARRET (1999) szintén búza növényen vizsgálta a növények nitrogén remobilizációs képességét. A felhalmozott és remobilizált nitrogén mennyiségi vizsgálatát minden növényi szervben elvégezték. Figyelembe vették továbbá, a talajból felvett nitrogén mennyiségét is. A talajban jelentkező nitrogén hiány 75%-kal csökkentette a növények nitrogén akkumulációját. A hiánytünetek eleinte a legfelső három levélben voltak megfigyelhetők, azonban három héttel később nagy mennyiségű nitrogén remobilizációt figyeltek meg az alsó levelekből illetve a szárból a három felső kifejlett levél felé a megfelelő nitrogén ellátással kezelt növények esetében. DECKMYN és IMPENS (1997) kutatásuk során a nitrogén hiány és UV-B sugárzás hatásait vizsgálta rozs növényen, kontrollált körülmények között. Az eredményeik szerint mind a nitrogén hiány, mind pedig az erős UV-B sugárzás jelentős hatással volt a növényekre. A két kezelés hatása additív volt a legtöbb vizsgált paraméterre, mint például a szárazanyag mennyiségére, mely 52%-kal alacsonyabb volt a kontrollhoz viszonyítva. A hajtás/gyökér arány értéke növekedett optimális nitrogén adag és normál UV-B sugárzás mellett, azonban a paraméter értéke nem mutatott szignifikáns változást az alacsony nitrogén adag és erős UV-B sugárzással kezelt növényeknél. A csökkent biomassza tömeg és a fotoszintézis csökkenése között szoros összefüggést véltek felfedezni az erős UV-B hatására. Optimális tápanyagellátás mellett a növények, az erős sugárzás hatására megnövekedett védekező pigment termeléssel reagáltak, azonban ez már nem volt elmondható a csökkentett nitrogén adagnál. Hasonló körülmények között vizsgáltak bab növényeket RIQUELME és munkatársai (2007), eredményei szerint a nitrát megvonás és az UV-B sugárzás negatív hatással volt a levelek fejlődésére, ugyanakkor növekedett a levelek keményítő tartalma. Optimális nitrogén ellátás mellett és UV-B sugárzásnak kitéve jelentős mértékben növekedett a védekező pigmentek termelése. LIN és munkatársai (2011) eredményei szerint a nitrogén hiány negatívan befolyásolta a hajtásnövekedést, de nem volt hatással a gyökér növekedésére. A magas nitrogén tartalmú molekulák, mint például a klorofilok vagy fehérjék aránya csökkent a levelekben a nitrogén hiány hatására. Az abszcizinsav és hidrogén-peroxid aránya nőtt a levelekben a tápanyag hozzáférhetőségének romlása hatására. A levelek aszkorbát tartalma, aszkorbát-peroxidáz, glutation-reduktáz és kataláz aktivitása alacsonyabb volt a nitrogén hiányos növények leveleiben. Ezzel szemben a glutation koncentráció nem változott a nitrogénhiány hatására, míg a szuperoxid-dizmutáz enzim aktivitása növekedett. ŽIVČÁK és munkatársai (2014)

kutatásukban a növények nitrogén státuszának jellemzésére egy a klorofill-fluoreszcencia eredményekből származtatott arányszámot használt. A mérési adatok alapján a legtöbb paraméter tekintetében szignifikáns csökkenést eredményezett a nitrogén hiány. SCHARF és munkatársai (2002) szerint a nitrogén kijuttatás időpontjának eltolása, több szempontból is fontos lehet. Ilyen szempont például a tavaszi munkacsúcs széthúzása vagy a nitrogén kimosódás veszélyének csökkentése. Eredményeik szerint kukoricánál, a 11 leveles állapotig halasztott nitrogén kijuttatás még nem eredményezett visszafordíthatatlan termés kiesést. A 12 és 16 leveles fázis közé tolt nitrogén kijuttatásnál, már egyértelmű, de alacsony termés kiesés volt megfigyelhető. Azonban a korán kijuttatott nitrogén adaghoz képest mindig kissé alacsonyabb termést tapasztaltak a megkésett kezeléseknél. BOJOVIĆ és MARKOVIĆ (2009) eredményei szerint minden őszi búza genotípusnál kimutatható volt az eltérő műtrágya kezelése hatására a növényi nitrogén tartalom tekintetében. További eredményeik szerint adott tápanyag szinten a genotípusok is eltérően reagáltak, így megállapítható, hogy a genotípus megválasztása is jelentős tényező, illetve a tápelemek közül a N volt a legfontosabb.

A túlzott mennyiségű nitrogén kijuttatás szintén termés kiesés forrása lehet, mivel a növények luxus-felhalmozásra is képesek belőle. Ilyen probléma lehet például az állományok megdőlésre való hajlamának növekedése, a kórokozók és kártevők kártételére való fogékonyság növekedése is. Bizonyos növényeknél a nagy adagú nitrogén trágya hatására keletkező többlet fehérje, minőségrontó hatással lehet. A túlzott mértékű nitrogén kijuttatás közvetlen és közvetett úton befolyásolja a virágzást, gyümölcskötődést és növekedést és a vegetatív fejlődést. Fontos, hogy a klimatikus és talajadottságokat figyelembe vegyük a nitrogén adag megválasztásánál (WEINBAUM et al. 1992). FERNÁNDEZ-ESCOBAR és munkatársai (2006) kísérletük során oliva növényt vizsgált, és eredményeik szerint a nitrogén adagok, a kontroll kivételével minden esetben nitrogén túladagolást eredményeztek. A növényi nitrogén tartalom nagy része a gyümölcsökben halmozódott fel és ezzel párhuzamosan csökkent a termés polifenol és természetes antioxidáns tartalma is. A növényből kinyerhető olaj oxidatív stabilitása is csökkent, rontva ezzel a minőséget. EHRET és munkatársai (2014) eredményei szerint az általuk vizsgált feketeáfonya fajtánál az antocianin tartalom, valamint a gyümölcsök mérete is csökkent a növekvő nitrogén ellátás hatására. Ezek hatására romlott a termék „piacossága”.

A nitrogén túladagolás miatt a gabonaszemekben magasabb fehérje tartalom figyelhető meg. Ez a jelenség szoros összefüggést mutat a talaj nitrogén tartalmával, amely esetenként erős vegetatív fejlődéshez vezet. A nagyméretű vegetatív felület erős transpirációt vonz magával, és ebből kifolyólag a talaj vízkészlete nem képes fedezni a megnövekedett transzspiráció miatt fellépő, magas vízigényt és ez végül magas fehérje, de alacsony szénhidrát tartalmú terméshez vezet (VAN HERWAARDEN et al., 1998). CUI és munkatársai (2010) szerint az optimális adagnál 30%-kal nagyobb mértékű nitrogén kijuttatás nem növelte a termést, azonban a talajban maradó nitrogén tartalmat jelentős mértékben növelte. A nitrogén túladagolás hatása különösen jelentős lehet a levélzöldségeknél. Ennek az az oka, hogy a nitrát mivel erősebben kötődik a hemoglobin molekulához a vérben, így káros lehet az emberi egészségre. Az Európai Unió a 1881/2006/EK rendeletben szabályozza a levélzöldségek nitrát tartalmát. A leveles zöltségek nitrát redukciója a levelek mezofillum sejtjeiben történik, a nitrát szállítási mechanizmusának folyamata igen bonyolult (BURNS et al., 2011). A nitrát felhalmozódás eltérést mutat a különböző napszakokban, mivel a nitrát-reduktáz enzimre a fény is szabályozó hatással van (GENT, 2011). A nitrát akkumulációja a levelekben főként éjszaka zajlik. A reggeli napfény hatására a nitrát távozik a vakuólumból és a helyére, a fotoszintézisből származó szerves savak és szénhidrátok kerülnek. Ilyenkor a nitrát koncentráció nagyon gyorsan csökken (UMAR és IQBAL, 2007). Az optimálisnál magasabb nitrogén adag kedvezőtlen hatással lehet a levél felület értékének tenyészidőn belüli változásra (WOLFE, 1988).

### **3.4. A nitrogén hasznosítási hatékonyság**

A nitrogén felhasználási kockázatának csökkentésének egyik módja, a növények nitrogén hasznosítási hatékonyságának javítása, amihez elengedhetetlen ennek a tényezőnek a mélyreható ismerete. Világszinten a gabona félék nitrogén hasznosítási hatékonysága körülbelül 33%-ra tehető (RAUN és JOHNSON, 1999), ami a nagymértékű, gazdasági értelemben vett veszteségen kívül, jelentős környezetvédelmi kockázattal is jár. A nitrogén veszteség csökkentésére és a növények igényeinek kielégítésére az egyik lehetőségünk az adott műtrágya felhasználási hatékonyságának a javítása (HAWKESFORD, 2014). LIANG és MACKENZIE (1994) definíciója szerint a nitrogén hasznosítási hatékonyság a kijuttatott nitrogén mennyiségének és a szárazanyag vagy a szemtermés nitrogén tartalmának az aránya. A szerzők több éves

szántóföldi kísérlet során vizsgálták, a kukorica növények nitrogén hasznosítási hatékonyságát, és azt találták, hogy a nitrogén adag szempontjából az ökonómiai optimum 170 és 270 kg ha<sup>-1</sup> között található. PIKUL és munkatársai (2005) szerint a nitrogén hasznosítási hatékonyság a szemtermés nitrogén tartalmának és a talajban rendelkezésre álló nitrogén mennyiségének hányadosa. GRAHAM (1984) definíciója szerint a nitrogénhasznosítási hatékonyság a genotípus azon tulajdonsága, hogy képes magasabb termést elérni más genotípusoknál, a talajban található alacsony nitrogén tartalom mellett is. A nitrogén hasznosítási hatékonyság két tényezőből tevődik össze, mégpedig a nitrogén felvételi hatékonyságból és a nitrogén asszimilációs hatékonyságból (MOLL et al., 1982; BERTIN és GALLAIS, 2000). E kutatók eredményei szerint a csökkentett nitrogén adag mellett a felvételi hatékonyság csökkent, míg a beépítési hatékonyság növekedett. Az előbbi szerzők (MOLL et al., 1982) kutatási eredményei szerint nem csupán a kezelések hatásai között lehetett eltérést felfedezni, hanem a genotípusok között is. Ebből következtethetünk arra, hogy a N hasznosítási hatékonyság a genetikai adottságoktól is függ, így növénynemesítés során fejleszthető. A csökkentett nitrogén adag mellett (a felvett nitrogén adaghoz viszonyítva) több mint kétszer annyi nitrogén transzlokálódott a vegetatív szervekből a szemekbe, mint az optimális nitrogén ellátás mellett. ROWAN és munkatársai (1987) munkájuk során fehér libatopot (*Chenopodium album* L.), amely C3-as növény és szőrös disznóparéjt (*Amaranthus retroflexus* L.), mely C4-es növény hasonlítottak össze nitrogén hasznosítási hatékonyság szempontjából. Eredményeik szerint a C4-es fotoszintetikus utat követő növény jobb N hasznosítási hatékonysággal rendelkezik. A kutatásuk során vizsgálták a növények nitrogén tartalmát, széndioxid asszimilációs képességét, a fotoszintézis kulcs enzimeinek aktivitását, továbbá a növények klorofilltartalmát. SCHMITT és EDWARDS (1981) szerint a kukorica C4-es növényként ugyancsak hatékonyabban hasznosítja a nitrogént, mint a C3-as búza és rizs. A kukorica N hasznosítási hatékonysága nagymértékben csökken, már kismértékű tápanyag túladagolásnál is (SOGBEDJI et al., 2000). Nitrogén hasznosítási hatékonyság szempontjából kedvező a nagy kiterjedésű gyökér és ez által a tápanyag felvevő felület növekedése, ugyanakkor ez versengést eredményez a tápelemek, a víz, és a tér iránt, a növények között (YANG et al., 2012; ZHANG et al., 2012). KAMARA és munkatársai (2003) kutatásában a kukorica gyökérrendszerét tanulmányozta, és kapcsolatot vélt felfedezni a kukorica gyökér vertikális irányú húzással szembeni ellenállása és a nitrogén hasznosítási hatékonyság között. Ez mindenképp fontos az állomány

megdőlésének veszélye szempontjából. WANG és munkatársai (2005) kutatásuk során azt a felvetést igyekeztek megvitatni, hogy a nitrogén ellátás befolyásolja a kukorica gyökerének fejlődését. Az általuk nitrogén-hatékonyak tekinthető genotípusok esetében magasabb gyökér és hajtás szárazanyag tömeget mértek, mint gyengébb nitrogén-hatékonyssággal jellemezhető genotípusoknál. Továbbá a hatékony vonalak több nitrogént vettek fel. A csökkentett nitrogén adag alapvetően nagyobb gyökér rendszert eredményezett, melyet főként az elsődleges gyökerek intenzívebb fejlődésének köszönhető. LIU és munkatársai (2017) eredményeik alapján megállapították, hogy kukorica növényeknél, a nitrogén kezelések növelték a gyökér szárazanyag tömegét és felszívási felületét, továbbá a gyökér/hajtás arányt is, valamint növelték a vízfelvételi kapacitást is, azonban a gyökerek száma és az abszorpciós felület csökkent magasabb N adagnál. A laterális irányú gyökérnövekedést a talajban található nitrát koncentráció befolyásolja (POSTMA et al., 2014). WANG és munkatársai (2000) kutatása során eltérő időben (1950 és 1990) nemesített és az adott időben igen népszerű kukorica genotípusokat vizsgált, gyökérnövekedés és egyéb paraméterek szempontjából. Eredményei rávilágítanak arra a tényre, hogy a nemesítés során sokat fejlődött a kukorica növények gyökérszerve. Ez további bizonyítéka annak, hogy egy újabb tulajdonság, amely fontos a nitrogén hasznosítási hatékonyság szempontjából, nem csak környezeti tényezők függvénye, hanem nagymértékben befolyásolják a genetikai adottságok is. LIU és munkatársai (2009) beltenyésztett kukorica vonalakat vizsgált alacsony és normál nitrogén szintek mellett és azt tapasztalta, hogy a csökkentett nitrogén adag mellett erősebb, hosszabb gyökeret növesztettek a növények, azonban a termés mennyiségre nem gyakorolt szignifikáns hatást a nitrogén megvonás. YAN és munkatársai (2017) eredményei szerint a magas állománysűrűség csökkentette a nitrogén akkumulációt, a levelek nitrogén tartalmát, a fotoszintézis mértékét és ezen keresztül a szárazanyag beépülés mértékét a virágzás utáni időszakban. Ezek együttes hatására csökkent a termés mennyisége és a nitrogénhasznosítási hatékonyság értéke is. Az eredmények alapján belátható, hogy a nagyobb állománysűrűség nagyobb műtrágya adagot is igényel. BARBIERI és munkatársai (2008) hasonló faktorokat vizsgált kutatása során Argentínában. Kimutatták, hogy a növekvő nitrogén adaggal romlott a kukorica nitrogénhasznosítási hatékonysága, de bizonyos mértékig, a csökkenő sortávolsággal javult ez a paraméter. A jövőben nagyon fontos cél a nitrogén hasznosítási hatékonyság javítása. Ennek az első lépése a megfelelő genotípusok felismerése, amely feladatra alkalmasnak bizonyultak a hidropónikus és a talajoszlópos

laboratóriumi módszerek (VERES et al., 2017; WOJCIECHOWSKI et al., 2009). Ilyenkor teljesen kontrollált körülmények között neveljük a növényeket és ez kiváló lehetőséget ad a genetikailag kódolt tulajdonságok vizsgálatára. Jelenleg sok kutató foglalkozik a nitrogén hasznosítási hatékonyság genetikai hátterének kutatásával. GALLAIS és COQUE (2005) szerint a nitrogénhasznosítási hatékonyság eltérő eredményeket mutat alacsony és magas nitrogén szintek mellett, mivel alacsony és magas nitrogén szintek mellett, eltérő a nitrogén anyagcsere folyamatok intenzitása. Alacsony nitrogén szint mellett a nitrogén beépítési hatékonysága bír nagyobb jelentőséggel, míg magas nitrogén szint mellett leginkább a nitrogén felvételi hatékonysága határozza meg a növények nitrogén státuszát. Ezeket az eltéréseket leginkább a genetikai adottságok segítenek megmagyarázni. A kutatási eredmények alapján a nitrogén hasznosítási hatékonyságot lehet javítani a kijuttatott nitrogén mennyiségének változtatásával, azonban azok a genotípusok melyek jól adaptálódtak a nitrogén többletnek, még nem biztos, hogy a nitrogén hiányos körülményekhez is tudnak alkalmazkodni. E kölcsönhatások miatt, fontos cél a nitrogén hiányhoz való alkalmazkodásra való szelekció és növénynevelés. További érdekesség, hogy a nitrogén hiányhoz való alkalmazkodás képessége, gyakran összefügg az aszály-stresszel kapcsolatos tulajdonságokkal, valamint a cső fejlődésével kukoricánál. AGRAMA és munkatársai (1999) kutatása során beltenyésztett kukorica vonalakban keresett nitrogénhasznosítási hatékonyságért felelős géneket. Eredményeik szerint egy-egy vizsgált tulajdonságot, 2-6 gén kódol. A nitrogén hiányos kezelés mellett tapasztalt értékek azt sugallják, hogy ezek a gének összefüggenek a nitrogénhasznosítási hatékonysággal. Nagy előrehaladást értek el a gabonafélék és más növények génkutatásaiban, és ezek közül több is komplexen kapcsolódik a nitrogén hasznosítási hatékonyság megértéséhez. Ilyen kutatások kapcsolódnak például az öregedés (GREGERSEN és HOLM 2007) vagy a szemtelítődés vizsgálatához (HANSEN et al., 2009; WAN et al., 2008). Ezek a gének komplex módon kapcsolódnak a nitrogénhasznosítási hatékonysághoz, azonban az expressziójuk nagymértékben függ az adott környezeti feltételektől. Sok tényező van hatással erre, ilyen például a talajban található humusz anyagok koncentrációja, amely alacsony koncentrációnál is pozitívan befolyásolja a nitrát metabolizmust, a fehérje tartalom növelése és az aminosav szintézis stimulálásán keresztül. Továbbá kedvező hatással volt a nitrogén asszimiláció és citromsav ciklus enzimeinek aktivitására is (VACCARO et al., 2015). HOWARTH és munkatársai (2008) a nitrogén és kén remobilizációs képességet vizsgálták búza növény

esetében, az említett elemek hiányának hatására. A levelek nitrogén tartalma a virágzást követő időszakban, hatékonyan transzlokálódott a termésbe, azonban a kén hasznosítása kevésbé volt hatékony. A levelek és a termés aminosav készleteinek elemzése során azt vélték felfedezni, hogy az aminosav szintézis, glutamin szintetizálásba vált át a szentelítődés során. A szemek nitrogén és kén tartalma párhuzamosan növekszik a virágzás után és ezt nem befolyásolja szignifikánsan a nitrogén hiány, ebből kifolyólag szuboptimális nitrogén/kén arány jön létre. A glutamin-szintetáz és nitrát-reduktáz enzimek aktivitása több ponton korrelációt mutat különböző nitrogén szintekkel (FOYER et al., 1998; GALLAIS és HIREL, 2004), ezért az ezek szintetizálásáért felelős gének ismerete fontos a nitrogén hasznosítási hatékonyság megismerése szempontjából. FOYER és munkatársai (1998) kutatásuk során vízhiány és tápanyaghiányos körülmények között vizsgálták a kukorica növények nitrát-reduktáz aktivitását és egyéb nitrogén- és szén-anyagcseréhez köthető folyamatait. Azt tapasztalták, hogy a vízhiányos körülmények mellett a levelekben, nagy mennyiségű keményítő, glükóz, fruktóz és aminosav felhalmozódás történt. A PEP-karboxiláz enzim aktivitása növekedett, vízhiány mellett, míg nitrát-reduktáz enzim aktivitása csökkent. A tápanyag megvonás megszüntetése után a nitrát-reduktáz aktivitása és a fotoszintézis is viszonylag gyorsan helyreállt. A korábban említett GALLAIS és HIREL (2004) különböző beltenyésztett kukorica vonalakat vizsgált különböző nitrogén szinteken, a kukoricaszemek fehérje tartalmát és a növények virágzás utáni nitrát felvételét és annak a remobilizációját, valamint a teljes nitrogén tartalmat, glutamin-szintetáz, glutamin-dehidrogenáz, valamint a nitrát-reduktáz enzim aktivitását is. Eredményeik szerint a genotípus-nitrogén interakció szignifikáns hatással volt a termésre, melynek oka főként a szemszámból adódik. Pozitív korrelációt véltek felfedezni a glutamin-szintetáz enzim és a termésmennyiség között, a növekvő nitrogén adag negatívan befolyásolta a nitrogén remobilizációját. A nitrogén adagok eltérően befolyásolták a gének expresszióját is. Optimális nitrogén adag mellett több mennyiségi tulajdonságért felelős gén helyet fedeztek fel, mint nitrogén megvonás mellett. A kutatásai eredményeik szerint az ötödik kromoszómán található glutamin-szintetázhoz kapcsolható gén nagy valószínűséggel összeköthető a nitrogénhasznosítási hatékonysággal. Egy a glutamin-szintetáz enzimhez kapcsolható gén (GS1.2) túlműködése 30%-al növelte a szemszámot kukoricánál (MARTIN et al., 2006). TA és WEILAND (1992) szerint a 14 leveles korban kijuttatott N több mint 50%-át a szár tartalmazta, három nappal a kezelés után. Későbbi adagolás mellett a felvett nitrogén nagy része a csövekben halmozódott fel. A

szemtelítődés időszakában továbbra is folytatódott a nitrogén felvétele a talajból, azonban nagy mennyiségű nitrogén remobilizáció is történt a vegetatív szervekből a cső irányába. A nitrogén remobilizációja, körülbelül a virágzást követően kezdődött el. További konklúzió a kísérletből, hogy a nitrogén mobilizáció nagymértékben függ a genotípustól illetve a rendelkezésre álló nitrogén mennyiségétől. PRESTERL és munkatársai (2003) kutatásuk során olyan kukorica genotípusokat kerestek melyek magas nitrogén hasznosítási hatékonysággal rendelkeznek és ez által alkalmazhatóak a low-input rendszerű gazdálkodásban. Eredményeik szerint a csökkentett nitrogén adag 37%-kal csökkentette a termésátlagot. A mért paraméterek tekintetében a termőhelyi adottságok és genotípus interakciójából adódó eltérések esetében nagyobb volt a szórás, alacsony nitrogén ellátás mellett, mint a magasabb adagnál. A genotípus és nitrogén, valamint genotípus-nitrogén-termőhely interakciók hatása a legtöbbször szignifikáns hatással volt a legtöbb paraméterre. SHAIUBU és munkatársai (2016) három korai érésidőbe tartozó genotípust vizsgált, melyek között találtak olyat, mely mind az alacsonyabb mind a magasabb nitrogén szint mellett stabilnak bizonyult. Az eredmények alapján a környezeti tényezők hatása is szignifikáns volt. Hasonló eredményeket tapasztalt WORKU és munkatársai (2007) jelentős genotípus-nitrogén interakciót figyeltek meg, amely erősebbé vált az alacsonyabb nitrogén ellátottságnál. A hatások elemzése után arra a következtetésre jutottak, hogy a genotípusok eltérően adaptálódtak az alacsony és magas nitrogénszintekhez. Olyan hibriddel is találkoztak, amely alacsony nitrogén adagnál is magas termésátlagot ért el. TSAI és munkatársai (1992) kutatásuk alapján három különböző nitrogén hasznosítási kategóriába sorolta a hibrideket: (1) Alacsony nitrogén adagnál éri el a termés maximumot (2) közepes nitrogén adag mellett éri el a termés maximumot (3) magas nitrogén szinten éri el a termés maximumát. A harmadik típusba tartozó növényeknél gyengébb nitrogén hasznosítási hatékonyságot tapasztaltak a nitrogén adag növelésével, azonban a hatékonyság nem változott jelentősen az első típusba tartozó hibrideknél. A tanulmány rávilágít, hogy a nitrogén adagok megállapításánál a hibrid igényét is figyelembe kell venni. ATTIA és munkatársai (2015) eredményeik szerint szója előveteményt követően magasabb nitrogénhasznosítási hatékonyságot tapasztaltak, mint kukorica elővetemény után. WORTMAN és munkatársai (2011) tapasztalatai alapján, a növények N hasznosítási hatékonysága romlott a kijuttatott nitrogén mennyiségének növelésével. Ezzel párhuzamosan növekedett a betakarítás után talajban maradt nitrogén mennyisége. Búza esetében ORITZ-MONASTERIO és munkatársai (1997) is

vizsgálták a nitrogénhasznosítási hatékonyságot. A kísérlet során azt tűzte ki célul, hogy összehasonlítsa néhány népszerű búzafajtát illetve, hogy a nitrogén hasznosítási hatékonysággal kapcsolatos genetikai előrehaladást értékelje, továbbá, hogy a nitrogén felvételi hatékonyságot és a nitrogén beépülési hatékonyságot vizsgálja. A genetikai előrehaladást jelentősnek vélte a szerző ugyanis a különböző nitrogén szinteken 32-89 kg ha<sup>-1</sup>-ig terjedt a termés többlet az 1950-es és 1985-ös genotípusok termés eredményei között. A modernebb genotípusok nagyobb nitrogén igénnyel rendelkeznek, azonban ez nagyobb terméseredményeket is eredményez. A különböző agrotechnikai beavatkozások szintén módosíthatják a nitrogénhasznosítási hatékonyságot. Ezt támasztja alá SINDELAR és munkatársai (2015) munkája, mely szerint a szemtermés a növekvő nitrogén adagok hatására, talajművelési rendszertől és szármaradványok eltávolítástól függetlenül, minden esetben növekedett. A szármaradványok eltávolítása „strip-till” és „no-till” rendszerekben, 134 kg ha<sup>-1</sup> nitrogén adag alatt, növelte a nitrogén hasznosítási hatékonyságot. Azonban ezen adag fölött, már nem volt hatása a szármaradványok eltávolításának. A talajművelés is több módon befolyásolhatja a talajban található növények által hasznosítható nitrogénformák mennyiségét, ezen keresztül a növények nitrogén hasznosítási hatékonyságát. A mechanikai talajművelés élénkíti a talaj hasznos mikroszervezeteinek tevékenységét és ez által befolyásolja a rendelkezésre álló, felvehető nitrogén mennyiségét is (WATSON et al., 2002). A hagyományos talajművelési rendszerrel művelt talajokban akár kétszer akkora nitrát koncentrációt is mérhetünk, mint a csökkentett műveletszámmal végzett talajművelési rendszerek hatására (SOON és CLAYTON, 2003). PAPONOV és munkatársai (2005) több kezelés hatását vizsgálta két kukorica hibriden, melyeket eltérő nitrogénhasznosítási hatékonysággal jellemeztek. A hatékony hibrid, a teljes föld feletti biomassa és termésmennyiség szempontjából csupán kis mértékben reagált szignifikánsan a kezelések hatására, illetve a hatékony genotípus termés mennyiség tekintetében, kevésbé volt érzékeny a nitrogénhiányra. A hatékony hibridnél, nitrogén hiányos környezetben nem keletkezett szignifikáns terméskiesés. Ezzel szemben a kevésbé hatékony hibridnél, nitrogén hiányos körülmények mellett szignifikánsan csökkent a termés. Összességében megállapítható, hogy a hatékony genotípus kevésbé volt érzékeny a környezeti stresszhatásokra.

A nitrogén általi környezetszennyezés témaköre, mint a nitrát talajvízbe mosódása vagy nitrogén-oxidok légkörbe távozása egyre élénkebbé teszi az alacsony nitrogén felhasználással járó stratégiák iránti érdeklődést a mezőgazdaságban (WIESLER et al.,

2001), bár ez minden szántóföldi és kertészeti kultúránál fontos, de ez kiváltképp igaz a gabonaféléknél, mivel azok igen fontos szerepet töltenek be a növekvő népesség élelemmel történő ellátásában. A kisebb mértékű nitrogén kijuttatás készíti az olyan genotípusok nemesítését, melyek képesek alacsony nitrogén szint mellett is elfogadható terméshozam elérésére (SATTELMACHER et al., 1994). Jelenleg is sok kutatás zajlik ilyen téren, azonban e paraméter vizsgálata előreláthatólag, még sokáig aktuális téma marad. Kukoricánál a nitrogén hasznosítási hatékonyság tekintetében a genetikai variabilitás és a genotípus-nitrogén trágyázási szint interakciók hatására fellépő különbségeket mutatnak be több tanulmányban is (BEAUCHAMP et al., 1976; BALKO és RUSSELL, 1980; REED et al., 1980; SIMKÓ és VERES, 2019; SIMKÓ et al., 2020).

Hazánkban, jelenleg is élénk kutatások zajlanak a szántóföldi növényeknél a nitrogén ellátással kapcsolatban. Kiemelt szerepet vállalt magára a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, ezeken a kutatási területeken. EL HALOFF és SÁRVÁRI (2005) munkája során különböző kukorica hibridek eltérő tápanyag ellátásra adott válaszreakciót vizsgálta. A vizsgált hibridek és a kezelések között is szignifikáns eltérést tapasztaltak a termésmennyiség, fotoszintetikus aktivitás és a levélfelület index tekintetében is. A legjobb eredményeket a 40 kg ha<sup>-1</sup> és a 120 kg ha<sup>-1</sup>-os adagok mellett tapasztalták. Az ennél nagyobb műtrágya adag, termés depressziót okozott. SZÉLES (2007) szintén a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén végzett kísérletet, kukorica növényen, eltérő nitrogén szintek mellett. Eredményei szerint a magasabb nitrogén hozzáférhetőség növelte a levelek klorofill tartalmát és a levélfelület indexét. Az általa használt SPAD-502 készüléket alkalmasnak ítélte a termés előrejelzésre és a nitrogén hiány észlelésére. PEPÓ és munkatársai (2007) több éves tartamkísérletben vizsgálta az eltérő műtrágyakezelések hatását a búza sütőipari értékeire. A nedves sikértartalom jelentős mértékben emelkedett a kontrollhoz képest. Hasonlóképpen a farinográfus érték is jelentősen változott a műtrágya szintek hatására. A műtrágya kezelés a termésnövelő hatásán kívül jelentős módon befolyásolhatja a termésminőségi paramétereket is. PEPÓ (2001) négy jól elkülöníthető csoportba sorolta az általa vizsgált genotípusokat:

- extenzív genotípus (és alacsony tápanyag szint mellett optimális termésre képes)
- intenzív genotípus (magas tápanyag szint mellett éri el termés maximumát)
- modern genotípusok (extenzív és intenzív körülmények között is eredményesen termeszthető)

- idejemúlt genotípusok (rossz tápanyag-hasznosítási képességgel, és gyenge tápanyag-reakcióval jellemezhetők)

TÓTH és munkatársai (2002) különböző nitrogén szintek mellett vizsgálta a xantofill-ciklus védelmi szerepét a fotoszintetikus folyamatokban, eltérő nitrogén ellátás mellett, kukoricában. A fotoszintézis által megkötött szén mennyiségének tekintetében nem találtak szignifikáns eltérést a különböző nitrogén adagokkal kezelt növényeknél. Az alacsony nitrogén ellátás mellett nevelt növények esetében alacsonyabb klorofill koncentrációt mértek. A nitrogén adagok csökkenésével, növekedett a xantofill-ciklusban résztvevő molekulák koncentrációjának aránya a teljes klorofill tartalomhoz képest. JOLÁNKAI és BIRKÁS (2005) eltérő N adagok mellett eltérő terméseredményeket tapasztalt valamint az eredményeik alapján a vizsgált kukorica hibridek is eltérően reagáltak a különböző N szintekre. JOLÁNKAI és BIRKÁS (2007) szerint az éghajlatváltozás negatív hatásait korlátozni lehet az alkalmazott növénykultúrák és genotípusok megváltoztatásával, valamint a környezeti tényezőknek megfelelően megválasztott tápanyag gazdálkodással. VERES és munkatársai (2017) a kutatásaik során a klorofill-fluoreszcencia indukció módszert használta. A vizsgálatok során több eltérő búza genotípust vizsgáltak, különböző nitrogén szinteken kontrollált körülmények mellett. Az eredmények szerint több olyan genotípust is találtak, melyek közel azonos értékeket mutattak egy adott paraméteren belül az eltérő nitrogén szintek mellett is. Ezek a genotípusok új vonalat jelenthetnek a jövőben a növénynevelők számára. CSAJBÓK és munkatársai (2005) azt találták, hogy az általuk vizsgált kukorica genotípusok eltérő tápanyagellátást igényeltek. Valamint a kezdeti szakaszban a magasabb 120-240 kg ha<sup>-1</sup> N szintek mellett volt magasabb a fotoszintézis mértéke, ellenben a későbbi szakaszokban a 60 kg ha<sup>-1</sup> adag volt a legkedvezőbb. JAKAB és munkatársai (2005) szerint a nitrogén ellátás hatása jelentősen függ az évjáratától, ugyanis a magasabb N ellátás csak kedvező évjáratokban volt kedvező hatással a fotoszintézisre. FUTÓ és JAKAB (2005) a legkedvezőbbnek a 40-80 kg ha<sup>-1</sup> N szintet találták a legkedvezőbb hatásúnak a vizsgált évjáratban kukoricánál.

Összegezve a leírtakat, megállapítható, hogy a nitrogén hasznosítási hatékonyság növelése jelenleg is időszerű feladat a növénynevelők, kutatók számára. Ez mind környezetvédelmi, mind pedig ökonómiai szempontból is egy nagyon fontos feladat. A jelenlegi és az előttünk álló globális problémák, új kihívások elé állítják a növénytermesztőket és a növénynevelőket.

### 3.5. A cink szerepe a növényfiziológiai folyamatokban

A WHO által 2016-ban készített adatbázis alapján, a valamilyen tápanyag hiányból adódó rendellenességek, az ötödik legfontosabb halált okozó tényező az emberiség szempontjából. Különös helyet foglal el a cink a növények és az emberek életében egyaránt. Egy felnőtt ember teste megközelítőleg 2 gramm cinket tartalmaz (HAMBIDGE et al., 1986). A cink fontos szerepet játszik a fehérjék szerkezetének kialakításában, továbbá központi szerepe van a DNS és RNS anyagcsere folyamataiban (MACDONALD, 2000). Az agyi idegsejtek megfelelő működésében is jelentős szereppel bír a cink (FREDERICKSON és BUSH, 2001). Az emberi szervezetben fellépő cink hiány negatív hatásait célzó kutatások az 1960-s években kezdődtek. Ekkor bizonyították, hogy igen jelentős fiziológiai hatással bír (PRASAD, 1963). A cinket elsősorban a növényeken keresztül, a táplálkozás során tudjuk felvenni. Ezért fontos a növényi eredetű táplálékok és takarmányok cinktartalma. A növények elsődleges cink forrása a talaj cinktartalma. A cink a talaj ásványi alkotójaként, ionos formában fordul elő (MENGEL, 1976), míg a talajoldatban leginkább cink-szulfid és cink-oxid formájában van jelen (FILEP, 1999). Talajaink cinkellátottsága jelentős eltéréseket mutat. Alapvetően a talajképző ásvány cinktartalma határozza meg legnagyobb mértékben a talaj cinkellátottságát, de jelentős hatással vannak az egyéb környezeti faktorok, mint például az időjárás vagy a növényborítottság is. A talajok cinktartalma általában nem haladja meg a 125 ppm-et (HUSSAIN et al., 2010). A talaj pH csökkenése növeli a cink hozzáférhetőségét a talajban, míg a szerves ligandumok és a néhány kation például a kalcium csökkenti azt. A hatékony cinktrágyázási stratégiák kidolgozása, illetve a különböző cink források megismerése lehetőséget kínálhat a cink hiánnyal összefüggésbe hozható egészségügyi problémák kiküszöbölésére, mérséklésére (NOULAS et al., 2018).

A cink nélkülözhetetlen a növények számára, ugyanakkor 0,2 mg g<sup>-1</sup> levélben mért koncentráció felett már fitotoxikus tüneteket eredményezhet (ALI et al., 2000; BONNET et al., 2000). A növények cink felvétele lineárisan emelkedik a növények által felvehető cinkformák talajoldatban mérhető koncentrációjának növekedésével (KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 2001). BROADLEY és munkatársai (2007) szerint a felvett cink szállítása a xilém-transzporton keresztül valósul meg a gyökerek felől a levelek irányába. Ezzel szemben PEARSON és munkatársai (1995) eredményeik alapján azt tapasztalták, hogy nagy mennyiségű cink található a floém elemeiben, így

megállapították, hogy a cink vertikális irányú transzportja a floémában és a xilémben is zajlik. A növényen belül vizsgálva a cink mozgását azt tapasztalták, hogy közepesen mozgékony a különböző szerveken belül (KABATA-PENDIAS és PENDIAS, 2001). Egyes kutatások szerint a cink szerepet játszik a növények vízfelvételi kapacitásában és a víz szállításában is (KASIM, 2007; DISANTE et al., 2010). SHARMA és munkatársai (1995) eredményei szerint a cink a karbon-anhidráz enzim működésének befolyásolásán keresztül részt vesz a sztóma záródás szabályozásában is. Több más enzim prosztetikus csoportjaként is fontos szerepet játszik a növényekben zajló fiziológiai folyamatokban (LÓPEZ-MILLÁN, 2010). Ezt az eredményt támasztja alá KESSLER (1961) kutatása, aki DNS és RNS polimeráz enzim működésében vizsgálta a cink szerepét. Fontos szerepet játszik az auxinok szintézisében, így alapvetően befolyásolja a növények növekedését is (SKOOG, 1940). A sejtmembránok szerkezeti felépítésében és azok funkcióinak megfelelő ellátáshoz is szükség van cinkre (CAKMAK, 2000). A cink fontos szerepet tölt be a fotoszintézis során is, így a PSII foto-destrukció során létrejött sérüléseinek javítási folyamataiban is (BAILEY et al., 2002; HÄNSCH és MENDEL, 2009). ALLOWAY, (2004) szerint a fotoszintetikus metabolizmus szintén a cink által szabályozott folyamat, mivel a fotoszintézis egyik kulcsenzimének, a RuBisCO enzimnek is szerkezeti alkotója. A sejtmembránokban is találkozhatunk cinkkel, egyes ligandumokhoz nagyobb affinitással, és stabilabban képes kötődni, mint a vas (BERG és SHI, 1996). Kutatásokban bizonyították, hogy a cink részt vesz olyan gének expressziójában, melyek bizonyos, az oxidatív stressz elleni védekezésben résztvevő enzimek szintézisét kódolják, így fontos szereppel bír a különböző stresszhatások elleni védekezésben (CAKMAK, 2000). A növények számára elsődleges cinkforrást a talaj szolgáltatja, azonban a talajaink cinktartalma jelentős eltéréseket mutat, így a cinkhiánnyal jellemezhető talajokon előtérbe kerül a különböző módon elvégezhető cinkutánpótlás. CAKMAK és munkatársai (1996) szignifikáns értékű termésnövekedést a cinktrágyázás hatására, csak azokon a talajokon tapasztaltak, ahol az eredetileg mérhető cink-koncentráció a talajban nem haladta meg a  $0,15 \text{ mg kg}^{-1}$  kivonható cinktartalmat. Továbbá arra a következtetésre jutottak, hogy a durum búzafajták érzékenyebbek a cinkhiányra, mint az *Aestivum* nemzetségbe tartozók. ALAM és SHEREEN (2002) tapasztalatai szerint, a cink és foszfor szint emelésével növekedett a növények teljes nedves és száraztömege egyaránt, azonban a gyökér tömege tekintetében ellentétes tendenciát tapasztaltak. A levelek klorofill tartalma, alacsonyabb cink és foszfor szint mellett magasabb volt, míg a magasabb tápanyagszinteken a

klorofill tartalom alacsonyabb volt a kontrollhoz viszonyítva. Ezt az eredményt a vas valamint foszfor és cink között fennálló interakcióval magyarázta a kutató, mivel véleménye szerint a magasabb szintű cinkellátás csökkentette a Zn hasznosítási hatékonyságát. ZHANG és munkatársai (1989) megállapították, hogy a cinkhiány szemmel látható tüneteinek megjelenésekor többszörösére nőtt a gyökérváladék kiválasztás, ezzel fokozva a gyökerek cinkfelvételi hatékonyságát. A cinkhiányos növényeknél alkalmazott cinkmegvonás megszüntetése, 50%-kal csökkentette a gyökérváladék képződését 12 órán belül, majd 72 órával később már az optimális cinkellátással kezelt növények szintjére állt vissza. YILMAZ és munkatársai (1997) kutatása során több őszi búza és durumbúza genotípust vizsgált erősen cinkhiányos talajon. A kutatás során minden esetben termésnövekedést eredményezett a cinktrágyázás, a legnagyobb mértékű termésnövekedést a talajtrágya, talajtrágyával kombinált lombtrágya valamint a vetőmag előkezelés lombtrágyával párosítva eredményezte. A föld feletti növényi részek szárazanyagtartalmát tekintve szintén hasonló eredményeket tapasztaltak. Az eredmények alapján arra a megállapításra jutottak, hogy a lomb- és talajtrágyázás együttesen fejt ki a legmagasabb hatást, azonban az ökonómiai szempontokat is figyelembe véve, a talajra történő cinkkijuttatás a legmegfelelőbb utánpótlási mód. RENGEL és munkatársai (1998) két, eltérő cinkhiány toleranciával rendelkező búza tulajdonságait vizsgálta. Eredményeik szerint a cinkhiány mértékének fokozásával a 14. és 18. nap között a cinkhiány toleráns genotípus cinkfelvétele 170%-kal növekedett, míg az érzékeny fajtánál nem változott ennek mértéke. WEBB és LONERAGAN (1988) szerint az enyhe cinkhiány mellett csökkent a hajtás szárazanyag tartalma, azonban a gyökerek szárazanyag tartalma növekedett. Erősebb mértékű cinkhiánynál azt figyelték meg, hogy a levelek foszfortartalma 3%-ról 4%-ra emelkedett és nekrotikus elváltozásokat eredményezett az idősebb leveleken melyeket egyfajta foszfor toxicitásként definiáltak. BAGCI és munkatársai (2007) szerint a cink kijuttatás öntözés nélkül, mindig jelentős mértékben csökkentette a szemtermés mennyiségét, a cinktrágya és öntözés nélkül termesztett növényekhez képest. A cinkhiány a legszéleskörűbben elterjedt mikroelem hiány a rizsnél (*Oryza sativa* L.) is, Azonban a növénynemesítés lehetőséget kínál olyan genotípusok fejlesztésére, melyek bizonyos szintű toleranciával rendelkeznek a cinkhiánnyal szemben (WISSUWA et al., 2006). Ez utóbbi szerzők négy gént is találtak, melyek közül a két legfontosabb a második és tizenkettedik kromoszómán helyezkedik el. VASCONCELOS és munkatársai (2003) kutatásuk során vizsgálták egy

a cink akkumulációban résztvevő gén, a ferritin expresszióját. Eredményeik szerint a transzgenikus növényekben melyek tartalmazták az említett gént, magasabb cinkkoncentrációt tapasztaltak, mint a kontroll növények, azonban fenotípus tekintetében nem tapasztaltak eltérést. GAO és munkatársai (2005) azt tapasztalták, hogy a cinkmegvonás a legtöbb esetben, jelentős mértékben csökkentette a hajtás szárazanyag tartalmát rizsnél is. A különböző genotípusokat „cink hatékonyság” alapján rangsorolták. WISSUWA és munkatársai (2008) eredményei azt mutatták, hogy a fő tényező a szem cinktartalmának kialakulásában, a talajban rendelkezésre álló cink mennyisége, azonban cinktrágyázás segítségével kompenzálható a talajok alacsony cink tartalma. A már felvett cink jelentős része a szárban halmozódott fel és a szemek cink tartalma alig változott.

OHKI (1977) már a hetvenes évek második felében elkezdett foglalkozni a szója (*Glycine max* L.) különböző cinkellátásra adott válaszreakcióval és azt találta, hogy a cinkhiány csökkentette a fotoszintézis mértékét és a karbon-anhidráz enzim aktivitását. PAULSEN és ROTIMI (1967) egy évtizeddel korábban azt tapasztalták, hogy a csökkentett cinkadag nem befolyásolta a levelek foszfor tartalmát. A megnövekedett foszforellátás negatív hatással volt a levelek cink tartalmára, míg a gyökerek cink tartalmát kevésbé befolyásolta. ROSE és munkatársai (1981) a vizsgált szója genotípusok között eltérést véltek felfedezni a cinktrágyázásra adott válaszreakciók tekintetében, azonban az minden esetben pozitív hatást gyakorolt a növény magasságra a levelek cink koncentrációjára, a termés olajtartalmára, míg a levelek foszfor tartalma csökkent. OZKUTLU és munkatársai (2006) eredményei szerint a cinkmegvonás hatására, a növényeken viszonylag hamar megjelentek a cinkhiány szemmel látható tünetei (klorózis, barna foltok a fiatal leveleken). SHUTE és MACFIE (2006) szerint a kontrollhoz képest legmagasabb cinkadag erős toxicitást okozott a növényekben, és csökkentette a növény magasságot valamint a teljes szárazanyag tömeget. A gyökér kivételével az összes szövetnél elmondható volt, hogy a cink adagolás koncentrációtól függően növelte a kadmium beépülését. WEIRA és munkatársai (2012) kutatásuk során különböző antioxidáns hatású enzimek aktivitását vizsgálta különböző cink és só koncentráció mellett. Az eredményeik alapján a cink enyhítő hatással lehetett a membránok sérüléseire, vagy pedig a másik lehetséges magyarázat, hogy a cinkfelvétel csökkentette a nátrium ionok felvételét, ezzel mérsékelve a sóstresszt. Napraforgónál (*Helianthus annuus* L.) a cinkhiány tünetei először az idősebb leveleken jelentek meg, melyeken később nekrotikus elváltozások is megjelentek (KHURANA és

CHATTERJE, 2001). A termés olajtartalmára is pozitív hatást gyakorolt az optimális cink adag. MIRZAPOUR és KHOSHGOFTAR (2006) eredményei alapján a 20 kg ha<sup>-1</sup> cinkadag jelentősen növelte a szemtermést és a hajtás szárazanyag tömegét valamint kedvező hatást gyakorolt az olajtartalomra is. Összességében megállapították, hogy cinktrágyázás egyaránt pozitív hatást gyakorolt a növények minőségi és mennyiségi tulajdonságaira is. SIDDIQUI és munkatársai (2009) eredményei szerint a 15 kg ha<sup>-1</sup> cink adag 1,5 kg ha<sup>-1</sup> bór adaggal társítva volt a legkevezőbb a vizsgált paraméterek szempontjából. Az ettől magasabb adagnál nem változott jelentősen a paraméterek értéke. LI és munkatársai (2018) eredményeik alapján arra megállapításra jutottak, hogy a cinkhiány csökkentette a levelek cinktartalmát, csökkent a levélszőrök száma és a sztóma szám is napraforgónál. ISMAIL és AZOOZ (2005) klímaszobában végzett kutatást napraforgó növényen. A vizsgált cinkadagok közül az 5 mg kg<sup>-1</sup> adag elérésig fokozatosan emelkedtek a szárazanyag paraméterek, azonban az ettől magasabb cinkadagok már toxikus tüneteket eredményeztek és csökkentették a növények hajtás és gyökér szárazanyag tömegét valamint az SLA értéket is. Ehhez hasonló eredményeket mutatott a klorofill és karotinoid tartalom is. RENGEL és GRAHAM (1995) azerint, búzán már alacsonyabb cink adagok esetén is toxikus tüneteket észlelt, amiből arra következtethetünk, hogy a napraforgó cink igénye magasabb, mint a búzáé. RASHID és munkatársai (1994) munkájuk során megállapították azt a kritikus cink szintet, amelyet a repce (*Brassica napus* L.) különböző szerveinek tartalmaznia kell az optimális fejlődéshez. E szerint a teljes hajtásnál 29 mg kg<sup>-1</sup> míg leveleknél 33 mg kg<sup>-1</sup> míg a magoknál 29 mg kg<sup>-1</sup> tekinthető optimálisnak. HUANG és munkatársai (1995) szerint a repce levéllemezek cink koncentrációja a cinkellátás emelkedésével párhuzamosan emelkedett. GREVAL és munkatársai (1998) által vizsgált két repce genotípus közül az egyik jelentősen magasabb hajtás és gyökér szárazanyag koncentrációt ért el cink és bórhiányos körülmények között, így ezeket e tápelemek hiányával szemben toleráns genotípusként definiálták. A cink és bór adagok növelésével párhuzamosan emelkedett a levelek klorofill tartalma. A cink adag emelése fokozta mind az idősebb, mind a fiatalabb levelek bórtartalmát.

MASUDA és munkatársai (2009) olyan genetikailag módosított rizs növényeket vizsgáltak, melyek rendelkeztek egy úgynevezett nikotin-amin szintetáz enzimet kódoló génnel (HvNAS1). E génnek az emelt szintű kifejeződése biokémiai folyamatok láncán keresztül elősegíti a rizs növények cinkfelvételét és felhalmozódását. A HvNAS1 gén eredetileg árpából (*Hordeum vulgare* L.) származik. Az említett génnel rendelkező

növényektől származó magokban kétszer-háromszor annyi vasat és cinket tartalmaztak. MASUDA és munkatársai (2008) már korábban is vizsgált árpa génekkel rendelkező rizs genotípusokat, és több gén (HvNAS1, HvNAAT-A, HvNAAT-B, IDS3) esetében is bizonyította a megnövekedett cinkfelvételt. ERENOGLU és munkatársai (2000) kontrollált, tápoldatos kísérlet során vizsgált eltérő cinkhatékonyággal rendelkező árpa fajtákat. A cinkhiány látható tünetei hamarabb jelentkeztek az érzékenyebb genotípuson, míg a hajtás és gyökér növekedését egyformán befolyásolta a csökkentett cinkadaggal rendelkező tápoldat. A kutatás során megfigyelték, hogy a növények által termelt sziderofór mennyisége nagyon alacsony volt az optimális tápanyag ellátás mellett nevelt növényeknél. A tanulmány eredményei szerint a fitosziderofórok fontos szerepet tölthetnek be a cinkhiánnyal szembeni védekezés során. GENC és munkatársai (2007) munkájuk során egy árpa genotípust és annak gyökérszőr nélküli mutáns alakját vizsgálta kontrollált kísérletben. Cinkhiány mellett a vizsgált eredeti genotípusnál magasabb hajtástömeget, cink koncentrációt a hajtásban, és magasabb területegységre vetített cinkfelvételt mértek, mint a mutáns vonalnál. A gyökérhossz értékét pozitívan befolyásolta a cinkhiány mindkét esetben, azonban a gyökérszőrök mennyiségére nem volt hatással a kezelés. CAKMAK és munkatársai (1997a) szerint a kenyér búza (*Triticum aestivum* L.), durum búza (*Triticum durum* L.) és rozs (*Secale cereale* L.) genotípusok szemmel látható cinkhiány tüneteinek megjelenési ideje eltérő volt a különböző növényfajoknál. Leghamarabb és legintenzívebben a durumbúza genotípusokon lehetett észlelni a jeleket, majd ezt követték a kenyérbúza fajták, majd végül a rozs. Az eredmények alapján megállapítható volt, hogy a rozs kevésbé érzékeny a cink megvonásra. CAKMAK és munkatársai (1997b) egy másik tanulmánya szerint a rozsnál valamint a tritikálénál lassabban és kisebb intenzitással jelentek meg a külső tünetek. A hajtás szárazanyagtartalom növekedése valamint a szemtermés nagysága is ugyanezt a sémát követte. A termésmennyiség és a kijuttatott cink mennyiségének hányadosaként megadták a vizsgált fajok „cinkhatékonyágát”. E paraméter alapján is a leghatékonyabb a rozs volt, míg a legkevésbé hatékony a durumbúza. SHIVAY et al (2013) a cink fortifikálás lehetőségeit vizsgálta zabnál (*Avena sativa* L.). Eredményeik szerint az 5 kg ha<sup>-1</sup> Zn szignifikánsan magasabb termést eredményezett, mint a 2 kg ha<sup>-1</sup> adag. Kijuttatási mód szempontjából a vetőmagkezelést találták a leghatékonyabbnak. Továbbá a kijuttatás időpontja szempontjából a korábbi kijuttatás bizonyult a leghatékonyabbnak, míg cinkforrásként a cinkszulfát bizonyult a kedvezőbb megoldásnak. KENBAEV és SADE (2002) árpa (*Hordeum vulgare* L.) fajták

cinktrágyázásra adott válaszreakcióit vizsgálta több éves szántóföldi kísérletben. A termésmennyiség, a cinktrágyázás hatására a kontrollhoz képest 16%-kal emelkedett az első műtrágyalépcsőn, míg 29%-kal a másodikon a két év átlagában véve. A levelek cink koncentrációjának változására is az előzőleg említett séma volt jellemző. E kutatók eredményei alapján is eltérések fedezhetők fel a fajták cinkhiány toleranciájának tekintetében.

A különböző kertészeti kultúrák kiemelt szereppel bírnak a cinkellátás szempontjából, mivel ezek általában közvetlenül kerülnek a fogyasztókhoz, így elsődleges forrásként szerepelhetnek a cink hiány okozta betegségek leküzdésében. CHANEY és munkatársai (2006) kadmium és cink felvételét vizsgálta római saláta (*Lactuca sativa* L.) növényeknél. A talajok meszezése, rontotta a növények cinkfelvételét. A cinkhiányos környezetben nevelt növények esetében emelkedett a kadmium felvétele, ezzel szemben a cink hozzáférhetőségének javítása hozzájárult a növények kadmium felvételének csökkentéséhez. DE IORO (1996) eredményei alapján arra a következtetésre jutott, hogy a foszfor és réz között pozitív, továbbá a foszfor és cink között negatív korreláció áll fenn. Magas foszfor szint mellett megnövekedett a gyökér cink és réz felvétele azonban e két tápelem transzlokációja a gyökérből a hajtás felé jelentősen csökkent. MOHAMMADI és KHOSHGOFTARMANESH (2014) kutatásuk során alternatív cinkellátási módokat vizsgált salátán. Az eredmények alapján a cinktrágyázás javítja, a növények só stressz által okozott károsodásainak kivédését azonban ez nagymértékben függ az alkalmazott cinkformától. A cink csökkentette a gyökerek malondialdehid tartalmát így egyértelműen kedvező hatással volt a membrán destrukció kivédésben. Az alkalmazott cink-kelátok mindig hatékonyabbnak bizonyultak a cinkszulfátnál. RANDAL és BOUMA (1973) spenót (*Spinacia oleracea* L.) növényen vizsgált eredményei alapján a cink megvonás drasztikusan csökkentette a levélfelület egységre eső széndioxid felvételt és a fotoszintetikus hatékonyságot is. KAYA és HIGGS (2002) paradicsomon tapasztalt eredményei szerint a csökkentett cink adagok hatására szignifikánsan csökkent a termés kálium magnézium és cink tartalma. Ezzel ellentétes eredményeket tapasztaltak a foszfor és vas tekintetében, melyek negatív korrelációt mutattak a cink ellátottsággal. PARKER és munkatársai (1992) eredményei szerint a cinkhiány foszfor tekintetében hiper akkumulációt eredményezett, aminek hatására már esetenként toxikus tünetek is megjelentek. A tapasztalatok szerint azt is célszerű megosztva, többszöri alkalommal kijuttatni, mivel a cink a növényen belül is viszonylag lassan mozog, így elkerülhető a különböző növényi szövetek eltérő

cinkellátottsága (SWIETLIK, 2002). FU és munkatársai (2015) kutatásuk során alma (*Malus domestica* L.) növényeket vizsgáltak. A vizsgálataik során azt tapasztalták, hogy a cinkhiány jelentősen rontotta a növények fotoszintetikus hatékonyságát, azonban ez nem a sztóma működés sérülésének volt köszönhető, hanem PSII működési rendellenességének. E kutatók eredményei szerint a klorofill fluoreszcencia indukció módszer segítségével mérhető paraméterek, alkalmazhatóak a cinkhiány detektálására. BAHADUR és munkatársai (1998) mangón (*Mangifera indica* L.) végzett kutatási eredményei szerint, a kontrollhoz képest már a legalacsonyabb cinkadag is a levelek cinkkoncentrációjának növekedését eredményezte. A lombtrágyaként alkalmazott cinket gyorsabban tudták felvenni a növények. YADAV és munkatársai (2013) kutatása során bór, cink és vastrágyázás hatását vizsgálta őszibarack (*Prunus persica* L.) növényeken. A szerzők a vas, bór és cink együttes adagolását találták a leghatásosabbnak, ugyanis a kezelések közül ekkor növekedett legnagyobb mértékben a gyümölcsméret, a gyümölcsök térfogata és az össztermés. MIRZAPOUR és KHOSHGOFTARMANESH (2013) vas és cinktrágyázás hatását vizsgálta gránátalmán (*Punica granatum* L.) és eredményei szerint a lombtrágyaként történő vas és cink kijuttatás nem eredményezett termésnövekedést az első évben, míg a második évben már igen. Gyümölcsúly és átmérő tekintetében mind a két évben szignifikáns növekedést eredményezett a cinktrágyázás.

A kukorica (*Zea mays* L.) jelentős takarmány, élelmiszer alapanyag és a konzervipari felhasználása is igen fontos. Egyes kultúráknál még a búzánál vagy a rizsnél is fontosabb élelmiszer. Ebből a szempontból kifejezetten fontos a kukorica beltartalmi értékeinek javítása, továbbá a cink kiemelkedően fontos szerepet tölt be a kukoricatermesztésben, mivel a kukorica az egyik legérzékenyebb e tápelem megvonására. A Nemzetközi Kukorica és Búza Fejlesztési Központ (CIMMYT) a 2000-es évek elején elindított egy programot, melynek célja olyan kukorica genotípusok nemesítése, melyek szemtermése magasabb cink és vastartalommal rendelkezik. A Cornell egyetemen e program keretében olyan genotípusok nemesítése volt a cél, amelyek vastagabb aleuron réteggel rendelkeznek így több vas és cink raktározására alkalmasak. Több mint 1400 genotípust és 400 tájfajtát tartanak fenn és vizsgálnak nemesítési célokkal. A fenntartott genotípusok és tájfajták között több fehérszemű kukorica is van. E fajták központi szerepet tölthetnek be az afrikai, cink hiánnyal súlyosan veszélyeztetett emberek étellel történő ellátásában. A nemesítőknek az egyik legnehezebb feladata, hogy megoldják annak a jelenségnek a problémakörét,

hogy a cink és vas tartalom valamint a termésmennyiség között gyakran negatív korreláció áll fenn (BÄNZINGER és LONG, 2000). WANG és JIN (2005) egy kontrollált kísérletben vizsgálta a cinkhiány hatását, fiatal kukorica növények növényfiziológiai paramétereire. A cinkhiány hatására a fotoszintézis rátájának és a sztóma konduktancia értékének csökkenése volt megfigyelhető. A PSII fotokémiai hatékonysága is csökkent a cinkmegvonás hatására. Az aktivált oxigénformák mennyisége és a membránok peroxidációjából származó malondialdehid mennyisége jelentősen megnövekedett a cinkhiányos körülmények között nevelt növények estében. A cinkadag növelésével a szuperoxid-diszmutáz enzim aktivitása növekedett. WANG és JIN (2007) egy későbbi kutatásuk során a cinkutánpótlás és a talajban fellépő vízhiány hatását tanulmányozta kukorica növényeken. A növények növekedésének fokozódása, valamint a cinkfelvétel fokozódása, a cinkadagok emelésének hatására inkább a jó vízellátottságú kezelések esetében volt megfigyelhető. Cinkhiány és aszályos körülmények mellett megfigyelhető volt a malondialdehid mennyiségének növekedése. A cinkhiány csökkentette a szuperoxid diszmutáz aktivitását is, ezzel szemben az aszály hatására nőtt ennek aktivitása. Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a cinktárgyázás ajánlott lehet öntözött körülmények között, mivel a cinkhiány rontja a növények vízhasznosítását. WANG és munkatársai (2009) egy további kutatásban arra a következtetésre jutott, hogy a cinkutánpótlás növelése nem alkalmazható az aszálystressz elleni védekezésre. A vízhiány mellett nevelt növények nem reagáltak az adagolt cinkre. A cink a generatív folyamatok során is különös jelentőséggel bír, erre kiváló példa SHARMA és munkatársai (1990) munkája. A kutatási eredményeik alapján a cinkhiány jelentős mértékben csökkentette a kukorica pollenjeinek életképességét. A cinkhiány bekövetkezte után a cinkhiányos növényeket visszaállítva optimális cinkellátásra, a növények vegetatív fejlődése és a pollen fertilitása nagymértékben helyreáll. Amennyiben ez túlkésőn történik meg a hiány már nem orvosolható. Amennyiben a cinkhiány a mikrospóra genezist megelőzően lép fel, akkor nem csökkenti a női ivarsejtek termelését, viszont a pollen fertilitást csökkenti. Akkor, ha ezt követően lép fel, akkor egyik ivarsejt genezisére sincs hatással. HARRIS és munkatársai (2007) szántóföldi kísérlet során vizsgálták a cinkutánpótlás lehetséges alternatíváit. Az eredmények alapján a 2,75 kg ha<sup>-1</sup> cinkadag jelentős mértékben emelte a kukorica termését, a teljes szárazanyagtartalmat, a cső számot és a csövek súlyát is. Az 5,5 kg ha<sup>-1</sup> adag nem eredményezett szignifikáns eltérést az előbbi adaghoz képest. POTARZYCKI és GRZEBISZ (2009) eredményei alapján a legnagyobb hatást az 1 kg

ha<sup>-1</sup> és 1,5 kg ha<sup>-1</sup> cinkadaggal kezelt növények esetében érték el. A termésnövekedés a három év átlagában véve, megközelítőleg 18%-os volt. Az említett adag hatására a nitrogén felvétel is növekedett. KANWAL és munkatársai (2010) kísérletükben szántóföldi körülmények között hasonlított össze egy kukorica hibridet és egy fajtát. A hibridnél a 18 kg ha<sup>-1</sup> míg a fajtánál 6 kg ha<sup>-1</sup> Zn adag eredményezte a legnagyobb termést, tehát a hibrid cinkkel szemben támasztott igénye magasabb volt. WANG és munkatársai (2012) kutatásuk során bizonyos szempontból eltérő eredményeket tapasztalt, mivel az eredményeik alapján egyik cink utánpótlási mód sem növelte a termés és az összes biomassza tömeget sem. Ezzel szemben a szemek cinktartalmára pozitív hatást gyakoroltak a levélen végzett cink kezelések a kukoricánál és a búzánál is. Kukorica esetében a cink lombtrágyaként történő alkalmazása pozitív hatást gyakorolt a szemek vastartalmára is. MARWAT és munkatársai (2007) a cinktrágyázás és eltérő talajművelési rendszerek hatását vizsgálták a kukorica termésére, valamint a terület gyomosodására. A redukált talajművelési rendszerben csökkent a terméshozam, továbbá a gyomsűrűség növekedett. A gyom borítottságot nem befolyásolta a cinkadagolás, viszont a terméshozamra pozitív hatást gyakorolt mind a két talajművelési rendszerben.

### **3.6. A cink- és nitrogénellátás kapcsolata**

A cink növényfiziológiai folyamatokon keresztül befolyásolja a többi esszenciális tápelem felvételét és akkumulációját is, szoros összefüggés áll fenn a cink és a foszfor, valamint a cink és a vas között. MEENA és munkatársai (2013) kukoricán végzett kutatásai során a nitrogén-cink ellátás összefüggéseit tanulmányozta, eredményeik szerint, a hektáronkénti 5 kg vagy ettől magasabb cinkadag szignifikánsan növelte a levelek nitrogén és cink koncentrációját. Ezen túl ennek hatására jelentős növekedés volt megfigyelhető a növénymagasság, szárazanyagbeépülés, a terméshozam és a harvest index tekintetében. ADILOGLU (2006) eredményei szerint a növények szárazanyag beépülése szignifikánsan növekedett a nitrogén és cink adagok emelésével, magas mésztartalmú talajokon. Ezzel szemben a vas réz és mangántartalom jelentős mértékben csökkent e kezelések hatására. POTARZYCKI (2011) több éves szántóföldi kísérletben vizsgálta kukoricánál, a különböző növényi szövetek nitrogén felhalmozásának változását cink és magnézium trágyázás hatására. A szár nitrogén tartalma mind a cink mind pedig a magnéziummal kiegészített műtrágya esetén

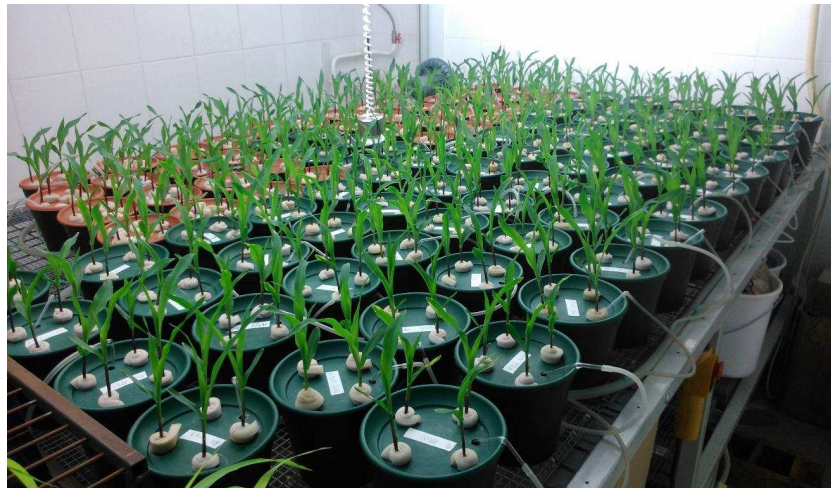
növekedett. A levélnél és a termésnél nem eredményezett szignifikáns hatást a mikroelem utánpótlás, mivel ezt csupán a nitrogén adagok emelésének hatására figyelték meg. Az összes növényi biomassza nitrogéntartalma szintén szignifikánsan emelkedett a nitrogén ellátás hatására, míg a mikroelemek hatása nem volt kimutatható ebben a paraméterben. A növényeken virágzáskor mért relatív klorofill tartalma (SPAD érték) szignifikánsan növekedett a cink és magnézium adagolás hatására. DEMETRIO és munkatársai (1972) szerint a cinkhiány szignifikánsan csökkentette a hajtás száraztömegét, a cink koncentrációját minden növényi részben, a gyökérgümők tömegét, a gyökérgümők leghemoglobin tartalmát, és a nitrogén fixációból származó nitrogén mennyiségét is. ASIF és munkatársai (2013) eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a nitrogén és cink adagolás fokozása növelte a növénymagasságot, a csövenkénti szemszámot, ezerszemtömeget és a termés hozamot. A hím és nővirágzás hamarabb bekövetkezett a cinkadagolás hatására, míg a magasabb nitrogén adagok hatására ez késett. A hektáronkénti 27 kg cinkszulfát szignifikánsan növelte a szemek fehérjetartalmát. SHAFEA és SAFFARI (2011) az eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a nitrogén és cink együttes adagolása, szignifikáns pozitív hatást eredményezett. A két elem kölcsönhatása pozitív hatást gyakorolt a termés vastartalmára és annak metabolizmusára. Azonban a cinkadagolás önmagában, antagonistá hatással volt a vastartalomra. KUTMAN és munkatársai (2010) durum búzán mért eredményei azt mutatják, hogy a nitrogén és a cink trágyázás szinergikus hatással van a gabona cinkkoncentrációjára. Lehetséges, hogy a növekvő nitrogénellátás hozzájárul a cinkfelvétel növekedéséhez a cink-kelátképző nitrogénvegyületek szintjének vagy a cink-transzporterek mennyiségének befolyásolásával. Eredményeik arra utalnak, hogy a nitrogéngazdálkodás hatékony agronómiai eszköz lehet a gabonák cink koncentrációjának javítására. KUTMAN és munkatársai (2011) későbbi eredményei alapján az egy növényre eső cink és vasfelvétel négyszeresére nőtt a legmagasabb nitrogénlépcső esetében. Magas nitrogén és cink szint mellett a szemek cinktartalmának 50%-a, és vastartalmának 80%-a származott a virágzás utáni felvételtől. Ebből arra következtethetünk, hogy cinkből magasabb remobilizációra volt képes a növény, mint vasból. Optimális nitrogén ellátás mellett a növény teljes cinktaralmának 80%-a szemekben volt megtalálható. Megállapítható, hogy a nitrogén ellátás szerepet játszik a mikroelemek transzlokációjában. LOSAK és munkatársai (2010) hasonló eredményeket tapasztaltak. A kutatásuk során arra jutottak, hogy az optimális nitrogén adag pozitív hatást gyakorol a növények cink vas és mangán

tartalmára. A nitrogéntrágyázás nem csökkentette a kukorica mikroelemtartalmát, így nyilvánvaló hogy nem rontotta annak minőségét. RAZZAQ és munkatársai (2013) kimutatták, hogy mandarinnál (*Citrus reticulata* L.), cink lombtrágyázás hatására nőtt a levelek nitrogén, kalcium és mangán tartalma.

## 4. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 4.1. Kontrollált kísérleti körülmények

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  $25/20^\circ\text{C}$  (nappal/éjjel) míg a relatív páratartalom (RH) 65-75% volt. A növények nevelését hidropónikus rendszer segítségével végeztük (1. kép).



**1. kép** A kukorica növények hidropónikus nevelése kontrollált körülmények között, klímaszobában (Saját fotó, 2017)

A kísérlet során a felhasznált magokról eltávolítottuk a csávázószert, majd 20 percen át felületi fertőtlenítést végeztünk 6% töménységű  $\text{H}_2\text{O}_2$  oldattal. Ezt követően a magvakat az erősebb csírázás érdekében 2 órán keresztül  $10^{-2}$  M koncentrációjú  $\text{CaSO}_4$  oldatban áztattuk. Ezután nedves szűrőpapírra – szűrőpapír csíkonként 30-30 kukoricaszemet – helyeztük őket, majd 5 napig csíráztattuk. Az előcsíráztatott magvakat, előkészített szivacs-csíkokba csavartuk, majd az edényekhez tartozó fedeleken található lyukakba (4 darab) helyeztük. Az edényekbe a növények oxigén ellátásának biztosítására kompresszorral levegőt pumpáltunk ( $350 \text{ L min}^{-1}$ ). A növényeket módosított Hoagland tápoldaton neveltük. A közeg literenként, a növények számára esszenciális tápelemek az alábbi formában és koncentrációban tartalmazza:

2,0 mM Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,7 mM K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,5 mM MgSO<sub>4</sub>, 0,1 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,1 mM KCl, 1 μM H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1 μM MnSO<sub>4</sub>, 1 μM ZnSO<sub>4</sub>, 0,25 μM CuSO<sub>4</sub> és 0,01 μM (NH<sub>4</sub>)<sub>6</sub>Mo<sub>7</sub>O<sub>24</sub>. A vasat a növények Fe (III)-EDTA formájában, 0,1 mM L<sup>-1</sup> mennyiségben kapták. A nevelő edények űrtartalma 1700 ml volt, melyekben 3 naponta cseréltük a tápoldatot. A tápanyag kezelések során e tápoldat elem tartalmát változtattuk meg a kísérlet céljának megfelelően. A nitrogénhasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított kísérletnél két féle nitrogén szinttel kezeltük a növényeket. A kontrollnál (Opt. N) a korábban bemutatott tápoldat teljes nitrogén adagjával történt a kezelés, míg a csökkentett nitrogén szint (1/4 N) esetében a tápoldat nitrogén tartalmát csökkentettük negyedére. A kísérlet során további faktorként a genotípust alkalmaztuk. A kísérlet során 22 darab eltérő nemesítőházból, és eltérő érésidő csoportból származó kukorica hibridet vizsgáltunk (1. táblázat).

**1. táblázat** A nitrogénhasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított kontrollált kísérlet során alkalmazott kukorica genotípusok jegyzéke azok FAO számával együtt

<b>Hibrid neve</b>	<b>FAO szám</b>	<b>Hibrid neve</b>	<b>FAO szám</b>
MV Margitta	300	DKC 4490	370
Renfor	300	Loupiac	380
P9074	310	Occitan	380
DK440	320	P9903	390
Sushi	340	Fornad	420
Neffel	350	P0023	420
P9415	350	NK Columbia	450
NK Thermo	370	MV Danietta	450
DKC 4590	370	Armagnac	490
MV Olek	370	P0216	490
P9537	370	MV Illango	530

A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított kísérlet során, az előző kísérletben használt genotípusok közül kettőt választottunk ki: Armagnac és P9903, az eltérő nitrogén hasznosítási hatékonyságuk alapján. A kísérletben a növényeket eltérő nitrogén és cink adagokkal kezeltük. A nitrogénkezelések megegyeztek az előzőekben

bemutatott N szintekkel (Opt. N, ¼ N), míg a cink esetében a kontroll tápoldat cink adagjához képest (Opt. Zn) 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 kontrollált kísérletek kezeléseit minden esetben randomizált módon állítottuk be.

## 4.2. Szabadföldi kísérleti körülmények

A nitrogén hasznosítási hatékonyság jellemzésére beállított kísérletünk helyszínéül a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep szolgált (47°30'É, 21°36'K; tengerszintfeletti magasság: 111 mBf). A kísérlet helyszínének talajtípusa mészlepedékes csernozjom volt. Pontos adottságait a 2. táblázat tartalmazza.

**2. táblázat.** A DE AKIT Látóképi kísérleti telepről vett talaj főbb paraméterei. n=3,  $\pm$ s.e.

Paraméter (m.e.)	Érték
pH (KCl)	7,43 $\pm$ 0,2
Aranyféle kötöttségi index (KA)	42,3 $\pm$ 0,6
Vízoldható összes só (m/m%)	0,06 $\pm$ 0,01
Szénsavas mész (m/m%)	10,9 $\pm$ 0,6
Humusz (m/m%)	3,35 $\pm$ 0,2
AL oldható foszfor (mg kg <sup>-1</sup> )	558 $\pm$ 5,2
AL oldható kálium oxid (mg kg <sup>-1</sup> )	397,8 $\pm$ 4,4
KCL oldható nitrogén (mg kg <sup>-1</sup> )	5,48 $\pm$ 0,8

A talaj KCl-os pH értéke semleges közeli, aranyféle kötöttségi értéke alapján agyagos vályog kategóriába sorolható. A talaj szénsavas mésztartalma alapján közepesen meszesnek mondható, míg humusz tartalma jó. Az ammónium-laktát oldható foszfor és kálium tartalma igen jó. A KCl oldható N is magasnak mondható, de a N formák talajban való mozgékonyága miatt helyénvalóbb a humusz tartalmat használni a N szolgáltató képesség jellemzésére. A kísérlet helyszínén hagyományos

talajművelési eljárást alkalmaztunk. Az alapművelés őszi szántás volt, amit az adott kísérleti évet megelőzően elmunkáltak. A magágy készítése kombinátorral történt. A műtrágya adagok kijuttatása megosztva történt. A területre megállapított adag 30%-át ősszel alaptrágyaként, míg a fennmaradó mennyiséget fejtrágyaként kapták a növények. A növények vetése 80000 egyed  $\text{ha}^{-1}$  tőszámsűrűséggel történt. A vetéssel egy menetben talajfertőtlenítő kijuttatás is történt. A kísérleti területen évenkénti vetésváltást alkalmaztunk, az elővetemény őszi búza volt. A parcellák randomizált blokk elrendezésben kerültek kialakításra (2. kép). A parcellák 10 m hosszban és 2,3 m (4 sor 0,76 m sortávolsággal) szélességgel kerültek kialakításra. A vizsgálatokat 3 éven keresztül (2018, 2019, 2020) végeztük.



**2. kép** A DE AKIT Látóképi kísérleti telepen beállított szántóföldi kísérlet (Saját fotó 2018)

A kísérlet során három nitrogén szintet alkalmaztunk. A kontroll parcellák esetében 0  $\text{kg ha}^{-1}$  a második műtrágya szinten 80  $\text{kg ha}^{-1}$ , míg a legmagasabb nitrogén adag esetén 160  $\text{kg ha}^{-1}$  nitrogén hatóanyagot juttatunk ki. A kijuttatott N forma 27% hatóanyag tartalmú pétisó volt. A kísérlet során három kukorica hibridet vizsgálatunk, melyek (Armagnac, Fornad, Loupiac) mindegyékét laboratóriumi körülmények között is. A kezeléseket négyszeres ismétlésben állítottuk be. A parcellák randomizált blokk elrendezésben kerültek kialakításra. A kísérlet során végzett mintavételeket a kukorica fenológiai szakaszaihoz igazítottuk, melyeket HANWAY (1963) alapján állapítottuk meg. A mintavétel és a mérések az alábbi fenofázisokban végeztük el: 7 leveles állapot (V7), címerhányás (VT), nővirágzás (R1), szemtelítődés kezdete (R2), fiziológiai érettség (R6).

A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított, szántóföldi kísérletünket a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Bemutatókert és Arborétum (47°33'É, 21°36'K; tengerszintfeletti magasság 114 mBf) helyszínén végeztük el. A kísérlet helyszínének talajtípusa ez esetben is mészlepedékes csernozjom volt. Pontos adatai a következők voltak (3. táblázat).

**3. táblázat** A DE AKIT Bemutatókertjében beállított kísérlet területéről vett talajminta főbb paraméterei. n=3,  $\pm$ s.e.

Paraméter (m.e.)	Érték
pH (KCl)	7,7 $\pm$ 0,3
Aranyféle kötöttségi index (KA)	37 $\pm$ 1,1
Vízoldható összes só (m/m%)	0,04 $\pm$ 0,001
Szénsavas mész (m/m%)	7,2 $\pm$ 0,7
Humusz (m/m%)	1,5 $\pm$ 0,2
AL oldható foszfor (mg kg <sup>-1</sup> )	1117 $\pm$ 9,7
AL oldható kálium oxid (mg kg <sup>-1</sup> )	575 $\pm$ 6,7
KCl oldható nitrogén (mg kg <sup>-1</sup> )	20 $\pm$ 1,2
KCl EDTA oldható Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	4,1 $\pm$ 0,8

A talajvizsgálati eredmények alapján a talaj KCl-os pH értéke enyhén lúgos, aranyféle kötöttségi értéke alapján homokos vályog kategóriába sorolható. A talaj szénsavas mésztartalma alapján közepesen meszesnek mondható, míg humusz tartalma gyenge. Az ammónium-laktát oldható foszfor és kálium tartalma igen jó. A KCl oldható N közepes, míg cinkkel jól ellátottnak tekinthető a terület. A kísérleti terület előkészítése őszi szántásos alpműveléssel történt, amit még annak végrehajtásának évében el is munkáltak. A vetőmagágy előkészítése kombinátorral történt. A műtrágya adagokat megosztva ősszel (30%) és tavasszal (70%) juttattuk ki a területre. A vetést vetőpuska segítségével végeztük, 80000 csíra ha<sup>-1</sup> tőszámsűrűséggel. A vetéssel egyben talajfertőtlenítő kijuttatás is történt. A kísérleti területen öntözés nem történt. A vizsgálatokat két éven keresztül (2019, 2020) végeztük. A területen nem alkalmaztunk vetésváltást. A parcellák randomizált blokk elrendezésben kerültek kialakításra (3. kép). A parcellák 2,3 m (4 sor 0,76 m sortávolsággal) szélesek és 6 m hosszúak voltak. A parcellák szélső sorainál és a sorok végén 0,5-0,5 m szegélyt hagytunk el.



**3. kép** A DE AKIT Bemutatókertjében beállított kísérleti parcellák (Saját fotó 2019)

A nitrogén-cink kölcsönhatásait két kukorica hibrid esetén vizsgáltuk szabadföldi körülmények között. A két hibrid megegyezett a kontrollált kísérletek esetén használt Armagnac és P9903 genotípusokkal. E kísérletben két nitrogénszintet alkalmaztunk: 40 és 160 kg ha<sup>-1</sup>. A kísérlet további kezeléseit a Zn alkalmazási módja jelentette. A hibrideket és nitrogén adagokat kombináltuk lombtrágyaként vagy talajtrágyaként kijuttatott továbbá cinktrágyázás nélküli kezelésekkel. A nitrogént 34% hatóanyag tartalmú ammónium-nitrát (NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>) formában a cinket cinkszulfát (ZnSO<sub>4</sub>) formában 3% hatóanyag tartalmú oldatként adagoltuk. A cinkkel kezelt parcellákon egységesen 4 L ha<sup>-1</sup> adagnak megfelelő mennyiségű permetlével kezeltük a növényeket. A talajtrágyaként alkalmazott Zn esetében az oldatot a talajra juttattuk ki permetező segítségével. A Zn kezeléseket a növények 8 leveles (V8) állapotában végeztük el. A parcellák ekkor is randomizált blokk elrendezésben voltak kialakítva. A kísérlet során végzett mintavételeket ez esetben is a kukorica fenológiai szakaszaihoz igazítottuk, melyeket HANWAY (1963) alapján állapítottuk meg. A minták begyűjtését az alábbi fenofázisokban végeztük el 7 leveles állapot (V7), címerhányás (VT), nővirágzás (R1), szemtelítődés kezdete (R2), fiziológiai érettség (R6).

### **4.3. Vizsgálati módszerek**

#### **4.3.1. Szárazanyagtartalom vizsgálata**

A kontrollált, klímaszobás kísérletek esetén, a kísérlet felszámolásakor, a gyökérnyaknál elvágva elválasztottuk a növények gyökerét és hajtását, majd külön-külön parpírtasakba helyeztük. A gyökérmintákat a tasakba helyezést megelőzően alaposan lemostuk a tápoldattól, majd a nedvesség nagy részét felitattuk papírtörülőkendő segítségével. Ezt követően a mintákat szárítószekrénybe helyeztük majd 65 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk. A mintákat kiszáradásuk után OHAUS Explorer (Svájc) típusú analitikai mérleggel mértük meg.

A szabadföldi kísérletek esetében, a kísérleti évenként két alkalommal végeztünk szárazanyagtartalom meghatározást. Az első alkalom a növények 6 leveles (V7) fázisában történt, míg a második mintavétel a fiziológiai értelemben vett termésérettséget (R6) követően végeztük el. A V7 fázisban elvégzett mintavételkor a növények talajfeletti részeinek összes szárazanyagtartalmát vizsgáltuk meg. Az R6 fázisban elvégzett mintavételkor a teljes talaj feletti részt begyűjtöttük a kísérleti területről, majd a laboratóriumba szállítottuk, ahol elvégeztük a minták feldolgozását. A feldolgozás során külön választottuk a szárat, a leveleket, a csövet és a csuhé levelet. A mintákat szárítószekrénybe helyeztük majd 65 °C hőmérsékleten tömegállandóságig szárítottuk. A paramétert mind a kontrollált mind pedig a szabadföldi kísérletek esetén vizsgáltuk. A levelek eltávolítását követően meghatároztuk a száron található náduszok számát, valamint a szár átmérőjét tólómérő segítségével, két helyen, a gyökérnyaknál és a fő cső alatt közvetlenül.

#### **4.3.2. Specifikus levélterület vizsgálata**

A specifikus levélterületet (SLA) GARNIER és munkatársai módszere (2001) szerint (4. kép), a kontrollált kísérletek felszámolásakor, valamint a szabadföldi kísérletek mintavételi (kivéve az R6 fázis) időpontjaiban vizsgáltuk. A laboratóriumi kísérletek során a mintavételt, az adott növény legidősebb és legfiatalabb teljesen kifejlett levelein végeztük el. A szabadföldi kísérletek fiatal növényen végzett méréseinél a

legfiatalabb teljesen kifejlett levelein, míg a későbbi fenológiai szakaszokban csőlevélen vizsgáltuk a paramétert.



**4. kép** Levélkorongok készítése specifikus levélterület értékének vizsgálatához. (Saját fotó 2017)

A vizsgált levélrész felületének és az adott levélfelület esetén mért szárazanyag tartalom hányadosából kapjuk meg az SLA értékét  $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$  értékben kifejezve.

#### **4.3.3. Relatív klorofill tartalom vizsgálata**

A relatív klorofill tartalom jellemzésére a SPAD (Soil Plant Analysis Development) értéket használtuk. Az értékeket SPAD 502 (Minolta, Japán) készülékkel mértük (5. kép).



**5. kép** A relatív klorofill tartalom (SPAD érték) mérése fiatal kukorica növények idősebb levelén (Saját fotó, 2017)

A kontrollált kísérletekben a SPAD-értékeket a kísérletek felszámolásakor, adott növény legidősebb és legfiatalabb teljesen kifejlett levelein mértük. A szabadföldi kísérletek fiatal növényen végzett méréseinél a legfiatalabb teljesen kifejlett levélen, míg a későbbi fenológiai szakaszokban csőlevélen mértük a paramétert. A SPAD érték vizsgálatakor levelenként 5 mérést végeztünk az adott levél középső részén, majd ezt átlagoltuk és a kapott értéket feljegyeztük.

#### **4.3.4. Fotoszintetikus pigmentek kvalitatív és kvantitatív vizsgálata**

A laboratóriumi kísérletek során a mintavételt, az adott növény legidősebb és legfiatalabb teljesen kifejlett levelein végeztük el. A szabadföldi kísérletek fiatal növényen végzett méréseinél a legfiatalabb teljesen kifejlett leveleiről, míg a későbbi fenológiai szakaszokban csőlevélen végeztük el a vizsgálatot. A minták klorofill-a, -b valamint teljes karotinoid tartalmát határoztuk meg. A vizsgálatokhoz 0,05g nyers levélmintát használtunk. A pigmentek kivonását N,N-dimetil-formamid segítségével végeztük el, MORAN és PORATH (1980) módszere alapján. A minták spektrofotometriás mérését 480, 647 valamint 664 nm hullámhosszon végeztük el, WELLBURN (1994) képletével számoltuk ki a minták klorofill-a, klorofill-b és karotinoid tartalmát.

$$\text{Klorofill-a (mg ml}^{-1}\text{)} = (11,65 \cdot a_{664}) - (2,69 \cdot a_{647})$$

$$\text{Klorofill-b (mg ml}^{-1}\text{)} = (20,81 \cdot a_{647}) - (4,53 \cdot a_{664})$$

$$\text{Karotinoid (mg ml}^{-1}\text{)} = ((1000 \cdot a_{480} - 1,28 \cdot \text{klorofill-a}) - 56,7 \cdot \text{klorofill-b}) / 100$$

A kapott értékekből meghatároztuk a teljes klorofill tartalmat, a teljes klorofill/teljes karotinoid arányt, valamint a klorofill-a/klorofill-b arányt is.

#### **4.3.5. Fotoszintetikus aktivitás vizsgálata**

A növényi stresszkutatásokban széleskörűen alkalmazott módszer az úgynevezett *in vivo* klorofill-fluoreszcencia indukció módszer. Kutatásunk során, a növényeket ért tápanyagstressz hatásainak jellemzésére használtuk a módszert. A kísérleteinkben PAM 2100 (Walz, Németország) típusú kézi fluorométert használtunk. A készülékkel mért paraméterek alkalmasnak bizonyultak a fotoszintetikus aktivitás jellemzésére. A műszer

használata közben több paramétert is vizsgáltunk, melyek közül egyeseket sötétadaptált levélen, míg másokat fényadaptált leveleken mértük. A laboratóriumi kísérletek során a mintákat az adott növény legidősebb és legfiatalabb teljesen kifejlett leveleiről gyűjtöttük (6. kép). A szabadföldi kísérletek fiatal növényen végzett méréseinél a legfiatalabb teljesen kifejlett leveleiről, míg a későbbi fenológiai szakaszokban csőlevélen végeztük el a paraméter vizsgálatát (7. kép).



**6. kép** A klorofill-fluoreszcencia indukció módszer paramétereinek mérése a kontrollált kísérletek esetén (Saját fotó, 2017)

#### *Mérés a sötétadaptált leveleken*

A sötétítés időtartama 20 perc volt. Ez idő alatt a levelek kloroplasztiszaiban található PSII reakciócentrumok alapállapotba, míg az elektron akceptorok oxidált állapotba kerülnek. A mérés kezdetén a műszer mérőfejében található fény kibocsátó dióda gyenge mérőfényvel világítja meg a levél lesötétített részét. Ilyenkor a fluoreszcencia értéke  $F_0$  értékre, azaz az alapfluoreszcencia értékére áll be. A következő lépésben, a műszer telítési fényimpulzussal ( $8000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) világítja meg a levelet, majd a szenzor érzékeli és méri a maximális fluoreszcencia ( $F_m$ ) értékét. Az  $F_m$  és  $F_0$  érték különbsége a változó fluoreszcencia ( $F_v$ ). A változó és maximális fluoreszcencia hányadosa ( $F_v/F_m$  érték) alkalmas a PSII potenciális fotokémiai hatékonyságának jellemzésére.



**7. kép** A klorofill-fluoreszcencia indukció paramétereinek mérése kukorica levelén a szabadföldi körülmények között (Saját fotó, 2018)

#### *Mérés a fényadaptált leveleken*

A fényadaptált mérés során meghatároztuk az Ft, ETR, Yield, qP, qN és Fm' paramétereket. Állandó megvilágítás mellett a fluoreszcencia értéke egy úgynevezett „Steady-state” állapotba kerül, melynek értéke az Ft paraméterrel jellemezhető. A fényadaptált állapotban mért maximális fluoreszcencia értékét Fm'-vel jelöljük. Az elektron transzportlánc működésének jellemzésére alkalmas az ETR azaz „Electron transport rate” paraméter melynek számítási módja a következő:

$$ETR = ((Fm' - Ft) / Fm') * PPFD * A_{\lambda}$$

Ahol a PPFD a levél felületét ért fotszintetikusan aktív besugárzás, míg az  $A_{\lambda}$  a levél abszorpciós koefficiense. A qP a fotokémiai kioltó folyamatok arányát, míg a qN érték a nemfotokémiai kioltó folyamatok arányát jelenti.

$$qP = (Fm' - Ft) / (Fm' - Fo')$$

A Yield értéke alkalmas a PSII aktuális fotokémiai hatékonyságának jellemzésére. Számítási módja a következő:

$$Yield = (Fm' - Ft) / Fm'$$

A laboratóriumi kísérletek során a mintvételt, az adott növény legidősebb és legfiatalabb teljesen kifejlett levelein végeztük el. A szabadföldi kísérletek fiatal növényen végzett méréseinél a legfiatalabb teljesen kifejlett leveleiről, míg a későbbi fenológiai szakaszokban csőlevélről végeztük a paraméter méréseit (7. kép). A méréseket a levelek középső szegmensén végeztük el.

#### **4.3.6. A termés mennyiség meghatározása**

A szántóföldi kísérlet végén a termés betakarítása Sampo 2010 parcella kombájnnal történt. A parcellák termését a betakarító gép beépített mérlegével határoztuk meg valamint vizsgáltuk a minták nedvességtartalmát is. A kapott parcellánkénti termés nedvességtartalmát 15% nedvességtartalomra standardizáltuk. Ezt követően a parcellák méretéből (32,8 m<sup>2</sup>) és kapott termés adatokat felhasználva a termés mennyiséget t ha<sup>-1</sup> értékben fejeztük ki.

#### **4.3.7. A termés beltartalmi paraméterek mérése**

A cink-nitrogén kölcsönhatására beállított szabadföldi kísérletekben betakarított termés beltartalmi paramétereit Infratec 1241 Grain Analyser készülék (FOSS, Dánia) segítségével elemeztük. Vizsgáltuk a termés szárazanyagtartalomra vonatkoztatott keményítő és fehérjetartalmát. A teljes szemek vizsgálata NIR (Near Infrared) rendszerrel, transzmittancia mérés segítségével lehetséges.

#### **4.3.8. A hajtás és gyökér szén, nitrogén és cink tartalmának meghatározása**

A kontrollált kísérleteink során mintákat gyűjtöttünk a különböző növényi részekből, melyekből a kísérleti beállításhoz megfelelően elemtartalom vizsgálatot végeztünk. Külön határoztuk meg a teljes hajtás és a teljes gyökér szén, nitrogén és cink tartalmát.

Első lépésként a gyökérnyaknál elvágva elválasztottuk a hajtást és a gyökeret. A minták nedvességtartalmát, a fagyasztást követően, liofilizáló berendezés segítségével (Christ Alpha 1-4, Németország) távolítottuk el. A laboratóriumi N hasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított kísérletben Variomax Cube CNS analizátorral (Elementar, Németország) határoztuk meg a minták C 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. Mind a két kísérlet során a minták elemtartalmát szárazanyagtömegre vonatkoztatva m/m% -ban illetve a Zn esetében mg kg<sup>-1</sup> adtuk meg.

#### 4.3.9. Az időjárási adatok elemzése

Az időjárási adatok mérését a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepének meteorológiai állomása végezte. Továbbá az utóbbi 30 év átlagértékeinek számításához szükséges adatokat az Országos Meteorológiai Szolgálat adatbázisából (OMSZ 2021) gyűjtöttem ki. A rendelkezésre álló adatokból a kukorica termesztés szempontjából legjelentősebb, januártól augusztusig terjedő időszak havi átlaghőmérséklet (°C) és havi összes csapadék (mm) viszonyait jellemeztük. Az aszályos hónapok jellemzésére a Gaussen-Bagnouls xerothermikus indexet (BGI) használtuk (BAGNOULS és GAUSSEN, 1953) melynek számítási módja a következő:

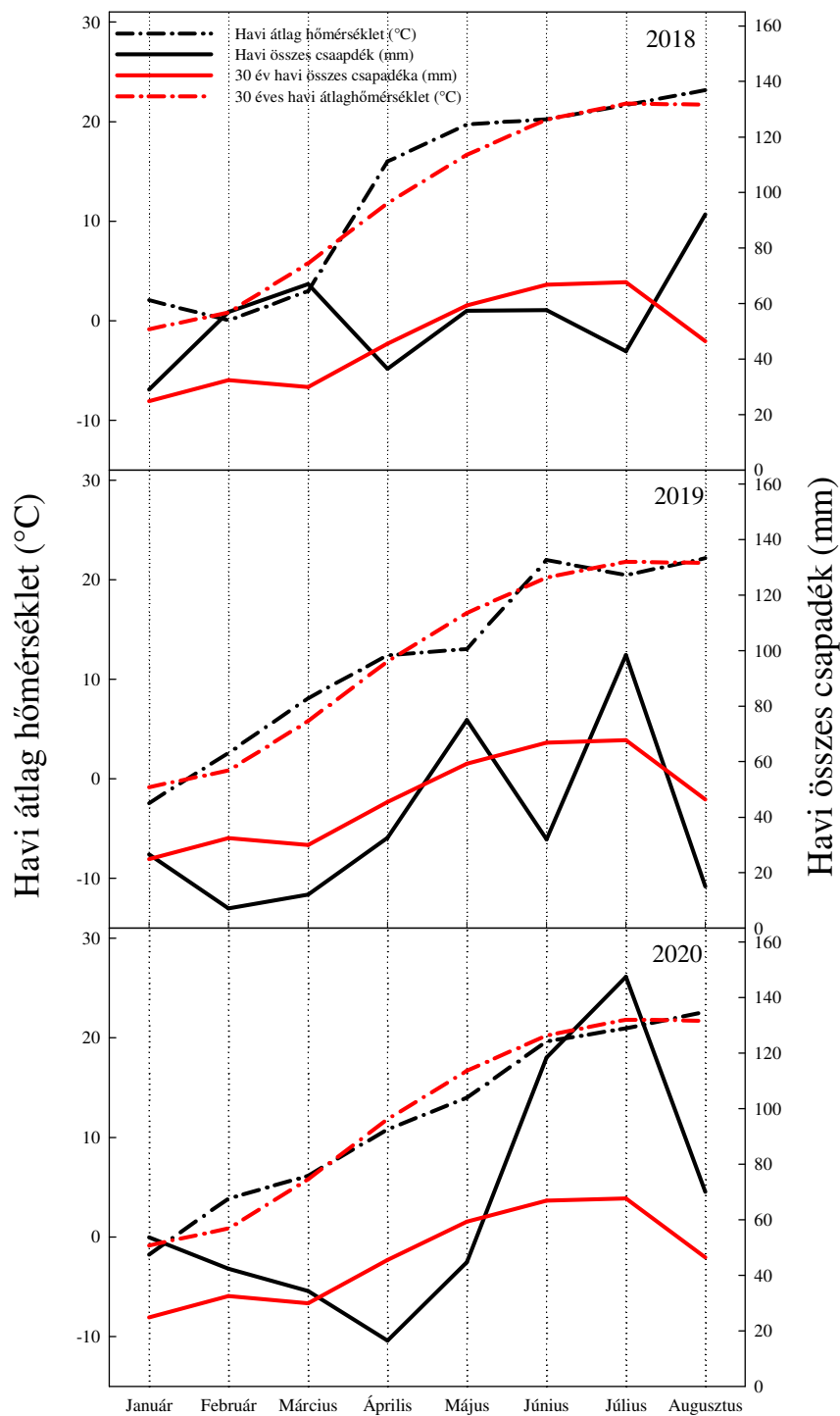
$$\text{BGI} = \text{havi összes csapadék (mm)} / \text{havi átlag hőmérséklet (°C)} * 2$$

**4. táblázat** A Gaussen-Bagnouls xerothermikus index (BGI) értékének változása a kísérleti években (2018, 2019, 2020) és a 30 éves átlagértékek (január-augusztus). Az aszályos hónapok szürkével kiemelve.

	január	február	március	április	május	június	július	augusztus
2018	7,03	443,3	11,2	1,14	1,45	1,43	0,99	1,99
2019	5,45	1,36	0,75	1,31	2,87	0,73	2,40	0,34
2020	15,2	5,50	2,79	0,76	1,60	3,02	3,52	1,55
30 év átlaga	14,8	19,1	2,59	1,93	1,78	1,65	1,55	1,07

A BGI eredményei megmutatják az aszályos időszakok gyakoriságát. Amennyiben a BGI értéke nem éri el az 1-t akkor az adott hónap aszályosnak tekinthető (4. táblázat). A 2018. évben egy hónapot, a júliust tekinthettük aszályosnak, azonban több hónap esetében is megközelítette az index az említett határértéket. A július hónapban hullott csapadék kiemelkedő jelentőségű a kukoricatermesztés szempontjából hazánkban, mivel általában ekkorra esik a virágzás időszaka, ami az egyik legmeghatározóbb a termés szempontjából. A 2019. évben már több hónap esetében is (március, június, augusztus) aszályt tapasztalhattunk. A márciusi aszály a talajelőkészítési munkálatokat nehezítheti, míg a júliusban fellépő csapadékhiány az intenzív fejlődés időszakára esik és akadályozza azt. Az április hónap, mely kiemelten fontos a kukorica növény fejlődése szempontjából, 2020-ban aszályos volt a BGI alapján. Áprilisban már gyakran eléri a talaj hőmérséklete a kukorica vetéséhez szükséges 10-12 °C-t, azonban ha a csírázás, és kezdeti fejlődés során nem jut elegendő mennyiségű vízhez a növény akkor

az igen jelentős mértékben növelheti a csíra elhalást, így a későbbiekben a termésmennyiségre is igen jelentős hatást gyakorol. A 2018. év hőmérsékleti adatai szerint a januári és február havi középhőmérséklete nem tért el jelentősen a 30 év átlagától, azonban márciusban mért havi középhőmérséklet ( $2,99^{\circ}\text{C}$ ) jelentősen alacsonyabb volt az e hónapban mért 30 éves átlagtól ( $5,79^{\circ}\text{C}$ ) (3. ábra). Az említett évben mind az áprilisi, májusi, júniusi, júliusi és augusztusi havi középhőmérséklet is magasabb volt, mint az utóbbi 30 év átlaga, azonban külön ki kell emelnünk az április és május hónapokat. Ekkor az április  $4,18^{\circ}\text{C}$ -kal míg a május  $3,05^{\circ}\text{C}$ -kal volt magasabb a havi középhőmérséklet, mint a 30 éves átlag. A 2018. év tenyészidőszak csapadék adatai közül a március július és augusztus hónapokat emelném ki. A márciusi csapadék ( $67,1\text{ mm}$ ) jelentősen meghaladta a 30 éves átlagot ( $29,99\text{ mm}$ ) mivel több, mint kétszer annyi csapadék hullott. Júliusban közel  $25\text{ mm}$ -el kevesebb csapadék hullott, mint az utóbbi 3 évtized átlaga. Ez viszonylag kisebb eltérés, azonban ahogy már korábban említettem a július hónap az egyik legkritikusabba kukorica optimális fejlődése során. Augusztusban viszont közel kétszer annyi csapadék hullott, mint az átlag. A vizsgált időszakban összesen  $439,8\text{ mm}$  volt a csapadék mennyisége. 2019-ben a hőmérséklet viszonyok kedvezőbben alakultak az előző évhez képest. Ebben az időszakban jelentősen nem tértek el a havi középhőmérséklet adatok az utóbbi 3 évtized átlagától. A kukorica szempontjából csupán a május volt kiemelkedő, ami ekkor több mint  $3,5^{\circ}\text{C}$ -kal hidegebb volt az átlagnál, ami kedvezőtlen a kukorica kelése és korai fejlődése során.



**3. ábra** A kísérleteink három évében (2018, 2019, 2020) mért, valamint az utóbbi 30 év (1990-2020) havi átlaghőmérséklet (°C) és havi összes csapadék (mm) mennyiségének változása a január és augusztus közötti időszakban.

A 2019. év említett időszakában 298,8 mm csapadék hullott, ami jóval kevesebb volt az előző évinél azonban kevésbé okozott problémát mivel a csapadékhiányos időszakok a kevésbé jelentős vegetációs szakaszokban fordultak elő, míg a legkritikusabb szakaszok kifejezetten csapadékosnak mondhatók voltak. Májusban 75 mm, míg

júliusban 98,4 mm csapadékot mértünk, ami kedvező a kukorica fejlődése szempontjából. A 2020-as év havi középhőmérsékletek adatai nem tértek el jelentősen a 30 éves átlagtól, valamint több esetben is az átlagtól kissé alacsonyabb értékkel találkozhattunk. Csapadék szempontjából azonban kiemelkedő volt az említett évjárat. Csupán az említett, januártól augusztus végig tartó vizsgált időszakban 527 mm csapadék hullott. Az április (16,5 mm) és a május (44,8 mm) is viszonylag szárazabb volt. Ezzel ellentétben június (118,5 mm) és július (147,5 mm) hónapokban a 30 éves átlag sokszorosának megfelelő csapadék fordult elő.

#### **4.4. Statisztikai értékelés**

Az adatokat Microsoft Excell 2016 program segítségével kezeltük és rendszereztük. Az adatokat statisztikai analízisnek vetettük alá, melyre SigmaPlot for Windows 12 (Systat software) és SPSS Statistics 20 (IBM) programokat használtunk. A statisztikai értékelés során a kísérleti beállításnak megfelelően két és háromtényezős variancia analízis (ANOVA) segítségével értékeltük a kezeléseink hatását az adott paraméterre. Az ANOVA tesztek során Duncan's Multiple Range post-hoc tesztet alkalmaztunk. Az eredmények ábrázolására szintén SigmaPlot for Windows 12 (Systat software) programot használtunk.

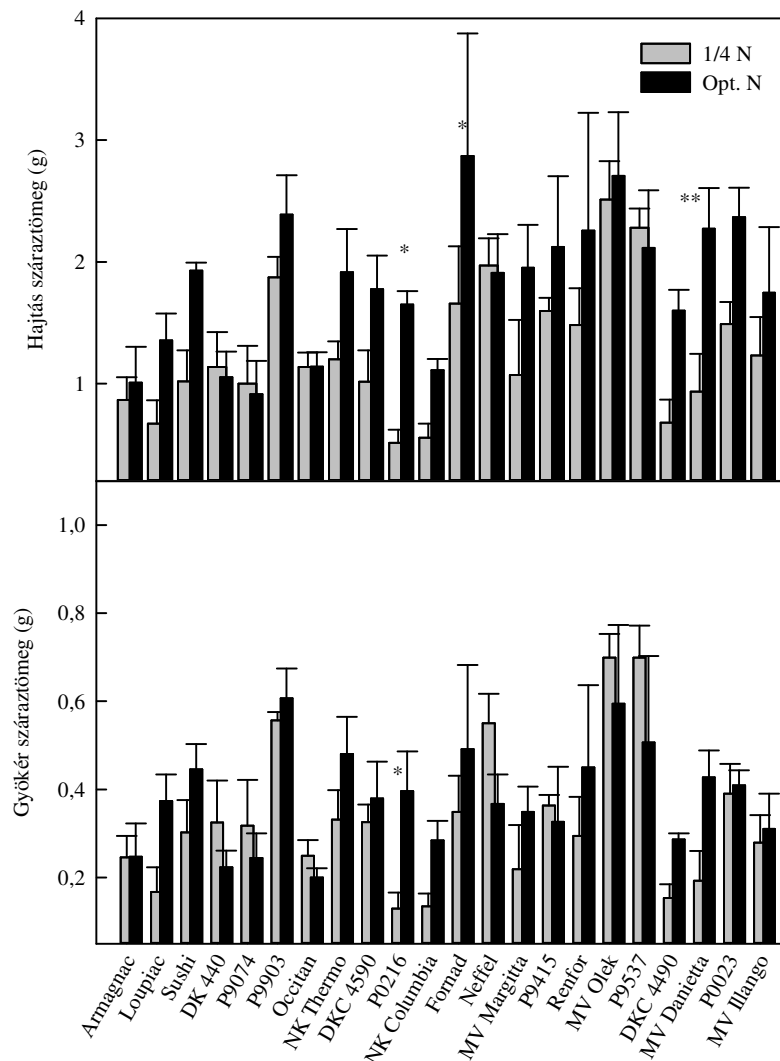
A laboratóriumi N hasznosítási kísérlet végén 20 paraméter alapján Cluster analízist végeztünk. A vizsgálat előkészítéseként meghatároztuk genotípusonként és kezelésként az ismétlések átlagát, és az optimális és csökkentett N adag közötti eltérést százalékban fejeztük ki paraméterenként. A teszt segítségével, 20 paraméter így kapott eltérései alapján csoportosítottuk a genotípusokat. Az analízis során Ward linkage módszert alkalmaztunk. Kísérleteinket mind szabadföldi, mind pedig szántóföldi körülmények esetén randomizált módon állítottuk be

## 5. EREDMÉNYEK

### 5.1. A nitrogén hasznosítási hatékonyság vizsgálata kontrollált kísérletben

#### 5.1.1. A kezelések hatása a szárazanyag gyarapodásra

A hajtástömegre statisztikailag szignifikáns hatást gyakorolt a N kezelés és a genotípusok között is eltérést tapasztaltunk. Optimális N ellátottság esetén szignifikánsan magasabb (30,6%) volt a hajtás tömege, mint csökkentett N adag mellett (4. ábra).

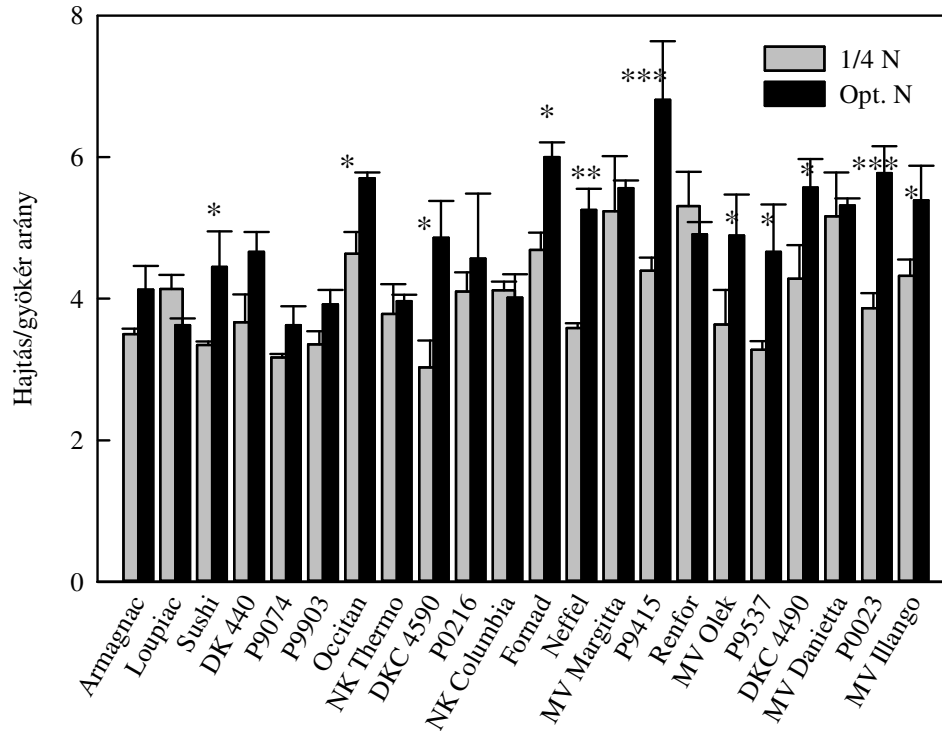


**4. ábra** A hajtás száraztömeg (g) és a gyökér száraztömeg (g) értékének változása a különböző N kezelések (optimális N: opt.N, és negyedére csökkentett N : 1/4 N), hatására genotípusonként (Armagnac, Loupiac, Sushi, DK440, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590, P0216, NK Columbia, Fornad, Neffel,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

A legmagasabb hajtástömeget az MV Olek hibrid ( $2,61 \text{ g} \pm 0,28$ ) esetén tapasztaltuk, míg a legalacsonyabbat az NK Columbiánál mértük ( $0,83 \text{ g} \pm 0,14$ ). A N kezelések hatása eltérő mértékű volt a különböző genotípusoknál. A nitrogén megvonás szignifikánsan csökkentette a hajtás szárazanyag tartalmának az értékét a P0216 (68,8%), Fornad (42,2%) és az MV Danietta (58,9%) hibrideknél.

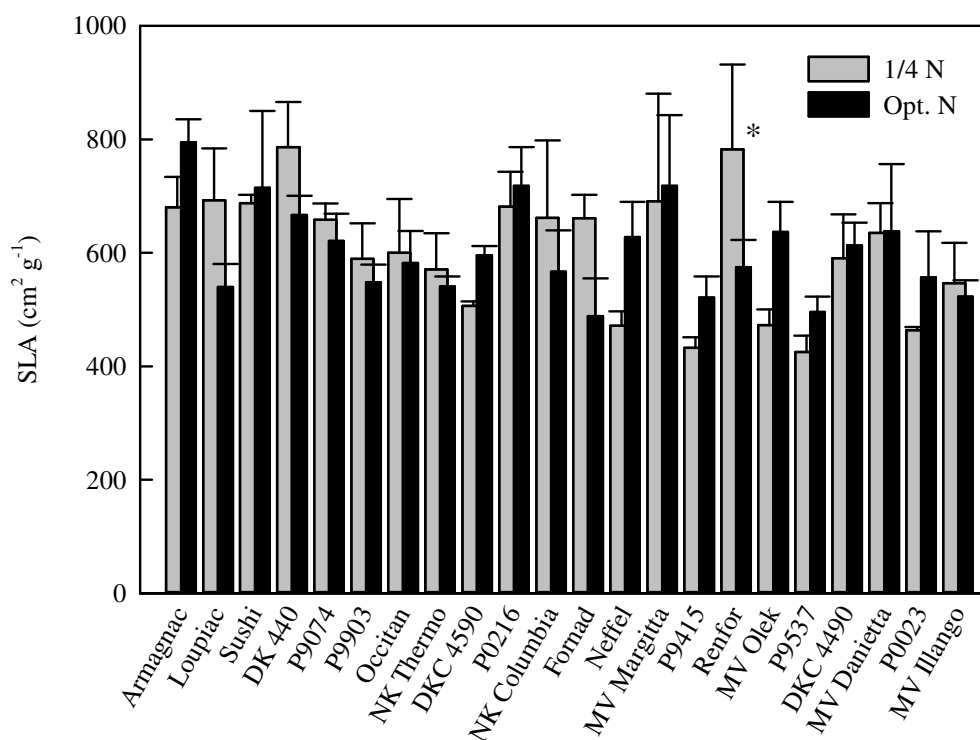
A gyökér szárazanyag tartalmának gyarapodását szintén befolyásolták a N ellátottsági szintek és a genotípusok is. Ez esetben is jelentős eltérést ( $0,05 \text{ g}$ ) tapasztaltunk a N kezelések között az optimális N adag javára (4. ábra). A genotípusok közül a legmagasabb gyökértömeg értéket az MV Olek hibridnél ( $0,65 \text{ g} \pm 0,09$ ), míg a legalacsonyabbat az NK Columbiánál mértük ( $0,21 \text{ g} \pm 0,04$ ). A N kezelések hatásának mértéke a genotípustól függött. A legtöbb esetben optimális N adag mellett tapasztaltunk magasabb gyökértömeget, azonban csak a P0216 genotípusnál találtunk statisztikailag igazolható eltérést, melynél 67,4% különbség adódott a két N szint között.

A hajtás/gyökér arány esetében is szignifikáns hatással voltak a paraméter értékére a kezeléseink (5. ábra). Optimális N adagnál szignifikánsan magasabb (17,7%) értéket mértünk, mint a csökkentett N kezelésnél. A genotípusok közül a legnagyobb értéket a P9415 genotípus esetében ( $5,6 \pm 0,66$ ) mértük, míg a legalacsonyabbat a P9074-nél ( $3,4 \pm 0,16$ ) tapasztaltuk. Több hibrid is szignifikáns eltérést mutatott a különböző N kezelések hatására, ugyanakkor a genotípusok ez esetben is eltérő módon reagáltak a N megvonásra. A Sushi-nál 24,8%, az Occitannál 18,7%, DKC4590-nél 37,6%, Fornadnál 21,8%, Neffelnél 31,7%, P9415-nél 35,5%, MV Oleknél 25,7%, P9537-nél 29,3%, DKC4490-nél 23,1%, míg az MV Illangonál 19,8% csökkenést eredményezett a N megvonás az optimális adaghoz képest. A fennmaradó 12 hibridnél nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést.



**5. ábra** A hajtás száraztömeg 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:  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$

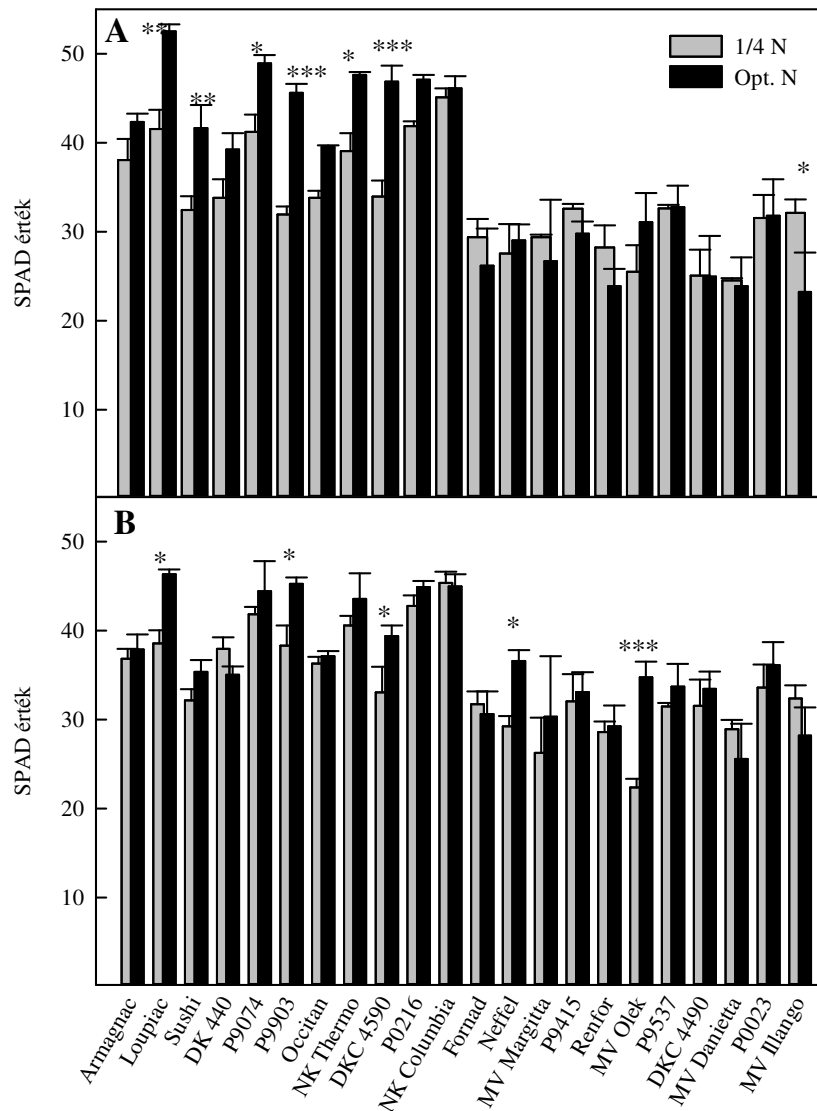
A specifikus levélterület értéke kifejezi a szárazanyag tömegre vonatkoztatott levélterület értékét. A paraméter értékére az idősebb (harmadik) levélen nem gyakoroltak szignifikáns hatást kezeléseink. A fiatalabb (utolsó teljesen kifejlett) levelek eredményei alapján (6. ábra) a kezelések átlagát tekintve nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a N kezelések között, azonban tendenciáját tekintve magasabb értéket tapasztaltunk az alacsonyabb N szintnél. A genotípusok többségénél szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a N kezelések hatása között, kivéve a Renfor genotípust amikor is  $208 \text{ cm}^2\text{g}^{-1}$  különbséget tapasztaltunk a két N szint között a csökkentett N szint javára.



**6. ábra** Az SLA (cm<sup>2</sup>g<sup>-1</sup>) értékének változása a fiatalabb (5.) 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, ±s.e., a N szintek közötti eltérés: P≤0,05\*

### 5.1.2. A kezelések hatása a fotoszintetikus pigmentekre

A relatív klorofilltartalomban az idősebb (harmadik) levélen végzett mérés eredményei alapján, a csökkentett N adag statisztikailag szignifikáns csökkenést eredményezett a paraméter értékében (7. ábra). Szignifikáns csökkenést a Loupiac (20,9%), Sushi (22,1%), P9074 (15,8%), P9903 (30%), NK Thermo (18%), DKC 4590 (27,5%) hibrideknél tudtuk kimutatni az adott levélen. Az MV Illangonál az optimális szint mellett találtunk alacsonyabb (27,7%) értéket. Az alacsonyabb N szint esetén 8,7%-kal alacsonyabb SPAD értéket tapasztaltunk, mint optimális N szint mellett. A genotípusok ez esetben is eltérően reagáltak a N megvonására. A legmagasabb értéket a Loupiac genotípusnál és optimális N mellett tapasztaltuk (52,5 ±0,80), míg a legalacsonyabbat az MV Illango (23,2 ±4,42) hibriden végzett méréskor rögzítettük.



**7. ábra** A relatív klorofill tartalom (SPAD érték) 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:  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$ ,

A negyedik levélen mért értékek tendenciája hasonló a harmadik levélnél tapasztaltakhoz (7. ábra). A legmagasabb értéket ez esetben is a Loupiac hibrid és optimális N szint ( $52,5 \pm 0,52$ ) mellett tapasztaltuk, míg a legalacsonyabbat az MV Olek hibrid ( $22,37 \pm 0,98$ ) csökkentett N adagjánál. Az utolsó kifejtett levélnél statisztikailag szignifikánsan csökkent (átlagosan 6,7%-kal) a paraméter értéke a N megvonás hatására. A legmagasabb értéket ez esetben is a Loupiac hibrid és optimális N szint ( $46,3 \pm 0,52$ ) mellett tapasztaltuk, míg a legalacsonyabbat az MV Olek hibrid ( $22,4 \pm 0,98$ ) csökkentett N adagjánál.

Az idősebb leveleken mért értékek alapján a genotípusok között csak N kezeléstől függetlenül tudtunk különbséget kimutatni, interakciót ez esetben nem találtunk a kezelések között (5. táblázat). A a genotípusok átlagát összehasonlítva, a legmagasabb klorofill-a tartalmat a Loupiacnál ( $11,3 \text{ mg ml}^{-1} \pm 1,80$ ) valamint a legalacsonyabbat a P9415 hibridnél ( $3,36 \text{ mg ml}^{-1} \pm 1,33$ ) mértük. A kezelések átlagát tekintve optimális N adagnál  $7,87 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,40$  míg a negyedére csökkentett N adagnál  $4,51 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,43$  értéket mértünk, ami 42,7% eltérés jelentett a két kezelés között. A fiatalabb levélen mért értékek alapján a genotípusok eltérően reagáltak a N megvonásra. Az Occitan és az MV Olek hibrideknél szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk optimális N adagnál, mint a csökkentett N szint mellett. Az előbbi hibrid esetén 24,7%, míg az utóbbinál 29,5% volt az eltérés a kezelések átlaga között. Ezzel szemben, meglepő módon az Armagnac és az MV Illango-nál magasabb volt a levelek klorofill a tartalma, csökkentett N szintnél, mint az optimálisnál. Az előbbi hibrid esetén 42,4%, míg az utóbbinál 29,2% volt az eltérés a kezelések átlaga között.

Az idősebb levelek klorofill-b tartalmát vizsgálva közel azonos tendenciát tapasztaltunk, mint a klorofill-a tartalomnál (5. táblázat). Ebben az esetben, a két N kezelés átlaga között 43,9% eltérést találtunk az optimális N szint javára. A legmagasabb értéket ez esetben is a Loupiacnál ( $4,03 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,82$ ) tapasztaltuk, míg a legalacsonyabbat a P9415-nál ( $1,43 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,38$ ) mértük. Interakciót ekkor sem találtunk a N kezelések hatása és a genotípusok között.

**5. táblázat** A különböző N szintek és genotípusok, illetve ezek interakciójának hatása a Klorofill a, Klorofill b, teljes klorofill és karotinoid tartalomra. n=3,  $\pm$ s.e., szignifikancia szint: n.s.= nem szignifikáns  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$

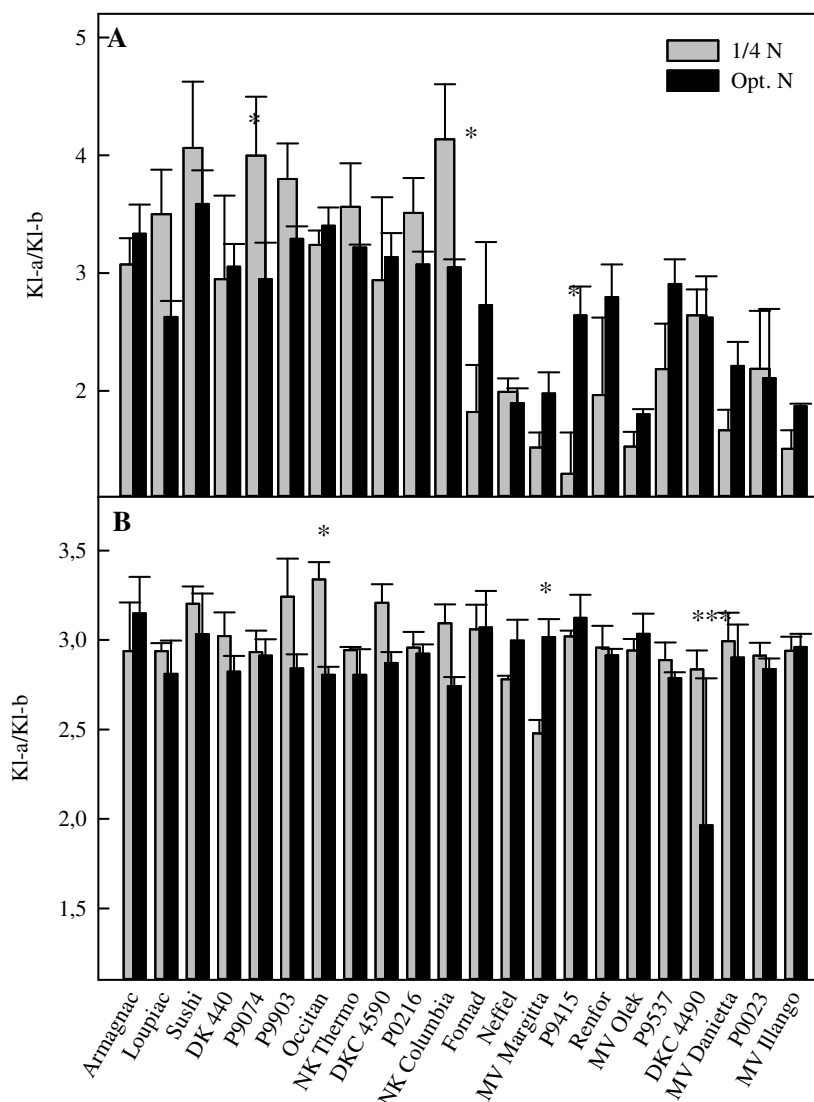
	Klorofill-a tartalom		Klorofill-b tartalom		Teljes klorofill tartalom		Teljes karotinoid tartalom	
	idősebb levél	fiatalabb levél	idősebb levél	fiatalabb levél	idősebb levél	fiatalabb levél	idősebb levél	fiatalabb levél
Genotípus	***	***	**	n.s.	***	**	***	n.s.
Nitrogén	***	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	***	n.s.
Genotípus x Nitrogén	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*

A legfiatalabb teljesen kifejtett levélnél is a klorofill-a esetéhez hasonló tendenciát tapasztaltuk. Ekkor az Occitan, NK Columbia és DKC 4490 hibrideknél tapasztaltunk

szignifikánsan magasabb értéket optimális N ellátás mellett. Ezzel szemben, meglepő módon az Armagnacnál, magasabb volt a levelek klorofill-a tartalma, csökkentett N szintnél ( $4,72 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,87$ ), mint az optimálisnál ( $3,01 \text{ mg ml}^{-1} \pm 2,27$ ).

Az idősebb levélnél mért teljes klorofill tartalomnál, szintén a klorofill-a és -b tartalomnál megfigyelt tendenciát tapasztaltuk. A N adag csökkentése szignifikánsan 42,8%-kal csökkentette a paraméter értékét a kezelések átlagát figyelembe véve. A genotípus X nitrogénkezelés interakciót nem tudtuk kimutatni (5. táblázat). A legmagasabb értéket Loupiac hibridnél tapasztaltuk ( $15,3 \text{ mg ml}^{-1} \pm 2,61$ ), mely a legtöbb genotípushoz képest szignifikánsan magasabb volt. A legalacsonyabbat a P9415-nél ( $4,79 \text{ mg ml}^{-1} \pm 1,71$ ) mértük. A legfiatalabb levélen, szintén a klorofill-a tartalomnál tapasztalt tendenciát tapasztaltuk. Ekkor is statisztikailag szignifikáns interakciót találtunk a N kezelések és a genotípusok hatása között. Az Occitan és az MV Olek hibrideknél szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk optimális N adagnál, mint a csökkentett N szint mellett. Az előbbi hibridnél 27,8%, míg az utóbbinál 28% volt az eltérés a kezelések átlaga között. Ezzel szemben, meglepő módon az Armagnac és az MV Illango-nál magasabb volt a levelek klorofill a tartalma, csökkentett N szint mellett, mint az optimálisnál. Az előbbi hibridnél 45,9%, míg az utóbbinál 29,3% volt az eltérés a kezelések átlaga között.

A vizsgált idősebb levélnél a nitrogén szint csökkentésének hatására szignifikánsan (31,1%) növekedett a karotinoidok mennyisége (5. táblázat). A legmagasabb értéket az MV Illango hibridnél mértük ( $13,9 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,77$ ) mely a legtöbb hibridhez képest szignifikánsan magasabb volt. Hasonlóan magas értéket tapasztaltunk a Neffelnél is ( $11,1 \text{ mg ml}^{-1} \pm 1,10$ ). A legalacsonyabb értéket a P0216 ( $2,35 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,08$ ) és az Armagnac ( $2,35 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,11$ ) hibrideknél tapasztaltuk. A karotinoid tartalmat vizsgálva a legfiatalabb levélről vett mintáknál, szignifikánsan magasabb (7,62%) értéket tapasztaltunk csökkentett N tartalom mellett. A genotípusok reakciója eltérő volt a N kezelésekre. A legtöbb esetben (néhány kivételtől eltekintve) csökkentett N ellátás mellett mértünk magasabb értéket, azonban csupán 5 darab hibridnél volt statisztikailag igazolható az eltérés. Az említett genotípusok a következők voltak: Armagnac (54,6%), Occitan (30,2% eltérés az optimális N adag javára), Neffel (32,2%), MV Margitta (39,8%), MV Illango (35,4%)



**8. 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:  $P < 0,05^*$ ,  $P < 0,01^{**}$ ,  $P < 0,001^{***}$

Az idősebb levélen tapasztalt klorofill-a/klorofill-b arány kis mértékben növekedett a nitrogénmegvonás hatására, azonban ez a változás nem volt statisztikailag igazolható (8. ábra). E paraméternél kisebb mértékű volt a genotípusok közötti különbség is. A legnagyobb értéket az NK Columbianál tapasztaltuk. Az MV Olek hibridnél ez az érték csupán 1,7 szerese volt a klorofill-b tartalomnak. 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 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.

A klorofill/karotinoid arány értéke jelentősen megváltozott a csökkentett N szint hatására az idősebb levélen mért adatok alapján. Az eredményeink szerint, optimális N ellátottság mellett az arány értéke  $3,5 \pm 0,26$  volt, míg csökkentett N szintnél  $1,6 \pm 0,22$ . Genotípusok közötti eltérés kevésbé volt jelentős e levélen. A legfiatalabb teljesen kifejlett levélnél szintén jelentős volt a N kezelés hatása. A két kezelés között  $0,64 \text{ mg ml}^{-1}$  különbség adódott, az optimális N szint javára. A genotípus és N kezelés között ekkor is kölcsönhatást fedeztünk fel mivel a genotípusok eltérő válaszreakciót adtak a N kezelésekre. Szignifikáns eltérést a N kezelések átlaga között a P9074, P9903, DKC4590, NK Columbia, Fornad, Neffel, MV Margitta, P9415, MV Olek, P9537, MV Danietta genotípusok esetén tapasztaltunk, minden esetben az optimális N kezelés javára.

### **5.1.3. A kezelések hatása a klorofill-fluoreszcencia indukció módszer paramétereire**

#### *Az idősebb levél paramétereire*

Az idősebb korú vizsgált levél az  $F_0$ ,  $F_m$ ,  $F_v$ ,  $F_v/F_m$ ,  $F_v/F_0$  és  $F_m/F_0$  paramétereire is szignifikáns hatással volt a N kezelés. A kezelések átlagát tekintve minden paraméternél, optimális N szint mellett magasabb értéket tapasztaltunk, mint a csökkentett N adagnál. Az  $F_0$  esetén 15,3%, az  $F_m$ -nál 27,4%, az  $F_v$ -nál 27,4%, az  $F_v/F_m$ -nél 21,8%, az  $F_v/F_0$ -nál 25,2%, míg az  $F_m/F_0$ -nál 18,4% eltérést eredményezett a N ellátottság megváltoztatása, a kezelések átlagát tekintve (6. táblázat). A N kezelésekre adott reakcióban eltértek a vizsgált hibridek egymástól. Az  $F_0$  paraméter értékeit vizsgálva, szignifikáns eltérést négy hibrid esetében, Occitan (0,110), DKC4590 (0,103), P9415 (0,112), MV Olek (0,136) generált a csökkentett N adag. Az  $F_m$ -nél a Sushi (0,637), P9903 (0,651), Occitan (0,819), NK Thermo (0,681), DKC4590 (0,796), P9415 (0,667), MV Illango (0,583) hibrideknél tapasztaltunk statisztikailag is igazolható eltérést az optimális N adag javára. A változó fluoreszcenciánál ( $F_v$ ) az Occitan, NK Thermo, DKC4590, P9415 hibrideknél tapasztalt értékek között talákoztunk szignifikáns eltéréssel a N kezelések átlaga között. Az Occitan csökkentett

N mellett  $0,31\pm 0,26$ , míg optimálisnál  $0,92\pm 0,02$  értéket, az NK Thermo csökkentett N szintnél  $0,13\pm 0,06$ , míg optimálisnál  $0,79\pm 0,08$  volt a paraméter értéke.

**6. táblázat** Az Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo értékének változása az idősebb 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:  $P\leq 0,05^*$

		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Fv/Fo	Fm/Fo
Armagnac	1/4 N	0,25 $\pm$ 0,01	0,95 $\pm$ 0,13	0,69 $\pm$ 0,15	0,7 $\pm$ 0,06	2,76 $\pm$ 0,58	3,82 $\pm$ 0,52
	Opt. N	0,24 $\pm$ 0,02	1 $\pm$ 0,08	0,76 $\pm$ 0,06	0,76 $\pm$ 0,01	3,11 $\pm$ 0,07	4,11 $\pm$ 0,07
Loupiac	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,01 $\pm$ 0,09	0,73 $\pm$ 0,09	0,72 $\pm$ 0,03	2,71 $\pm$ 0,25	3,75 $\pm$ 0,21
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	1,01 $\pm$ 0,05	0,76 $\pm$ 0,06	0,74 $\pm$ 0,02	2,99 $\pm$ 0,26	4 $\pm$ 0,25
Sushi	1/4 N	0,2 $\pm$ 0,04	0,44 $\pm$ 0,24*	0,35 $\pm$ 0,24	0,3 $\pm$ 0,21*	1,36 $\pm$ 0,91*	2,42 $\pm$ 0,87*
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	1,07 $\pm$ 0,02	0,82 $\pm$ 0,01	0,77 $\pm$ 0,01	3,34 $\pm$ 0,04	4,34 $\pm$ 0,04
DK 440	1/4 N	0,24 $\pm$ 0,02	0,86 $\pm$ 0,26	0,61 $\pm$ 0,24	0,63 $\pm$ 0,13	2,37 $\pm$ 0,87	3,39 $\pm$ 0,84
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	1,08 $\pm$ 0,04	0,83 $\pm$ 0,04	0,77 $\pm$ 0,01	3,32 $\pm$ 0,13	4,33 $\pm$ 0,13
P9074	1/4 N	0,2 $\pm$ 0,03	0,36 $\pm$ 0,14	0,21 $\pm$ 0,1	0,28 $\pm$ 0,15*	0,9 $\pm$ 0,4	2 $\pm$ 0,48
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	0,85 $\pm$ 0,23	0,61 $\pm$ 0,24	0,63 $\pm$ 0,14	2,55 $\pm$ 1,03	3,55 $\pm$ 1,02
P9903	1/4 N	0,19 $\pm$ 0,04	0,44 $\pm$ 0,28*	0,74 $\pm$ 0,01	0,27 $\pm$ 0,23*	2,77 $\pm$ 0	3,77 $\pm$ 0,01
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,01	1,09 $\pm$ 0,09	0,83 $\pm$ 0,1	0,75 $\pm$ 0,03	3,15 $\pm$ 0,43	4,15 $\pm$ 0,44
Occitan	1/4 N	0,16 $\pm$ 0,06*	0,37 $\pm$ 0,24*	0,31 $\pm$ 0,21*	0,34 $\pm$ 0,17*	1,24 $\pm$ 0,75*	2,26 $\pm$ 0,75*
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,01	1,19 $\pm$ 0,02	0,92 $\pm$ 0,02	0,77 $\pm$ 0,01	3,44 $\pm$ 0,04	4,44 $\pm$ 0,04
NK Thermo	1/4 N	0,22 $\pm$ 0,01	0,35 $\pm$ 0,07*	0,13 $\pm$ 0,06*	0,31 $\pm$ 0,13*	0,58 $\pm$ 0,26*	1,63 $\pm$ 0,29*
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	1,04 $\pm$ 0,08	0,79 $\pm$ 0,08	0,76 $\pm$ 0,02	3,2 $\pm$ 0,33	4,2 $\pm$ 0,33
DKC 4590	1/4 N	0,16 $\pm$ 0,03*	0,35 $\pm$ 0,13*	0,28 $\pm$ 0,02*	0,4 $\pm$ 0,19*	1,44 $\pm$ 0,05*	2,45 $\pm$ 0,04*
	Opt. N	0,26 $\pm$ 0,01	1,15 $\pm$ 0,07	0,88 $\pm$ 0,06	0,77 $\pm$ 0,01	3,33 $\pm$ 0,06	4,33 $\pm$ 0,06
P0216	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,23 $\pm$ 0,02	0,96 $\pm$ 0,02	0,78 $\pm$ 0,01	3,59 $\pm$ 0,09	4,6 $\pm$ 0,09
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,02	1,25 $\pm$ 0,08	1 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,01	3,93 $\pm$ 0,07	4,93 $\pm$ 0,07
NK Columbia	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,01	1,14 $\pm$ 0,02	0,88 $\pm$ 0,02	0,77 $\pm$ 0,01	3,38 $\pm$ 0,14	4,38 $\pm$ 0,14
	Opt. N	0,26 $\pm$ 0,01	1,13 $\pm$ 0,02	0,88 $\pm$ 0,02	0,77 $\pm$ 0,01	3,43 $\pm$ 0,07	4,43 $\pm$ 0,06
Fornad	1/4 N	0,29 $\pm$ 0,02	1,15 $\pm$ 0,11	0,86 $\pm$ 0,09	0,75 $\pm$ 0,01	3 $\pm$ 0,11	4 $\pm$ 0,11
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,05	0,91 $\pm$ 0,36	0,63 $\pm$ 0,32	0,51 $\pm$ 0,23	1,98 $\pm$ 0,99	2,98 $\pm$ 0,99
Neffel	1/4 N	0,24 $\pm$ 0,05	0,92 $\pm$ 0,27	0,68 $\pm$ 0,23	0,72 $\pm$ 0,04	2,69 $\pm$ 0,53	3,69 $\pm$ 0,53
	Opt. N	0,32 $\pm$ 0,01	1,3 $\pm$ 0,02	0,98 $\pm$ 0,01	0,76 $\pm$ 0,04	3,12 $\pm$ 0,07	4,12 $\pm$ 0,07
MV Margitta	1/4 N	0,23 $\pm$ 0,07	0,89 $\pm$ 0,4	0,67 $\pm$ 0,32	0,58 $\pm$ 0,18	2,26 $\pm$ 1	3,26 $\pm$ 1
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,02	1,01 $\pm$ 0,35	0,72 $\pm$ 0,33	0,57 $\pm$ 0,2	2,38 $\pm$ 1,11	3,38 $\pm$ 1,11
P9415	1/4 N	0,18 $\pm$ 0,05*	0,57 $\pm$ 0,33*	0,39 $\pm$ 0,28*	0,44 $\pm$ 0,23	1,55 $\pm$ 1,05	2,55 $\pm$ 1,05
	Opt. N	0,3 $\pm$ 0,01	1,24 $\pm$ 0,16	0,94 $\pm$ 0,15	0,75 $\pm$ 0,03	3,18 $\pm$ 0,5	4,18 $\pm$ 0,5
Renfor	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,04	0,98 $\pm$ 0,36	0,7 $\pm$ 0,33	0,57 $\pm$ 0,19	2,21 $\pm$ 1	3,21 $\pm$ 1
	Opt. N	0,33 $\pm$ 0,01	1,26 $\pm$ 0,06	0,93 $\pm$ 0,06	0,74 $\pm$ 0,01	2,86 $\pm$ 0,19	3,85 $\pm$ 0,19
MV Olek	1/4 N	0,12 $\pm$ 0,09*	0,27 $\pm$ 0,24	0,16 $\pm$ 0,15	0,3 $\pm$ 0,16	0,64 $\pm$ 0,47	1,62 $\pm$ 0,48
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,04	0,61 $\pm$ 0,26	0,36 $\pm$ 0,25	0,44 $\pm$ 0,17	1,35 $\pm$ 0,94	2,35 $\pm$ 0,94
P9537	1/4 N	0,3 $\pm$ 0,01	1,36 $\pm$ 0,07	1,06 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,01	3,57 $\pm$ 0,16	4,57 $\pm$ 0,16
	Opt. N	0,26 $\pm$ 0,04	1,06 $\pm$ 0,34	0,8 $\pm$ 0,3	0,7 $\pm$ 0,08	2,8 $\pm$ 0,84	3,8 $\pm$ 0,84
DKC 4490	1/4 N	0,29 $\pm$ 0,02	1,1 $\pm$ 0,13	0,81 $\pm$ 0,12	0,73 $\pm$ 0,02	2,76 $\pm$ 0,35	3,76 $\pm$ 0,35
	Opt. N	0,31 $\pm$ 0,01	1,3 $\pm$ 0,06	0,99 $\pm$ 0,06	0,76 $\pm$ 0,01	3,22 $\pm$ 0,12	4,22 $\pm$ 0,12
MV Danietta	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,04	0,89 $\pm$ 0,33	0,63 $\pm$ 0,29	0,61 $\pm$ 0,14	2,13 $\pm$ 0,87	3,13 $\pm$ 0,87
	Opt. N	0,3 $\pm$ 0,01	1,1 $\pm$ 0,18	0,8 $\pm$ 0,17	0,72 $\pm$ 0,04	2,65 $\pm$ 0,48	3,65 $\pm$ 0,48
P0023	1/4 N	0,29 $\pm$ 0,02	1,25 $\pm$ 0,09	0,97 $\pm$ 0,07	0,77 $\pm$ 0,01	3,39 $\pm$ 0,09	4,39 $\pm$ 0,09
	Opt. N	0,3 $\pm$ 0,03	1,17 $\pm$ 0,27	0,87 $\pm$ 0,23	0,72 $\pm$ 0,04	2,8 $\pm$ 0,53	3,8 $\pm$ 0,53
MV Illango	1/4 N	0,17 $\pm$ 0,04	0,33 $\pm$ 0,13*	0,16 $\pm$ 0,09	0,4 $\pm$ 0,11	0,8 $\pm$ 0,35	1,8 $\pm$ 0,35
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,05	0,91 $\pm$ 0,37	0,66 $\pm$ 0,32	0,56 $\pm$ 0,21	2,19 $\pm$ 1,01	3,19 $\pm$ 1,01

A DKC4590 csökkentett N szintjénél  $0,28 \pm 0,26$  míg optimálisnál  $0,88 \pm 0,06$ , továbbá a P9415 csökkentett N szintjénél  $0,39 \pm 0,28$  ezzel szemben az optimális N adag mellett  $0,94 \pm 0,15$  értéket tapasztaltunk. A PSII fotokémiai hatékonyságának jellemzésére szolgáló Fv/Fm paramétert vizsgálva azt találtuk, hogy több hibridnél is (Sushi, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590) szignifikánsan csökkent a paraméter értéke. A kiemelt genotípusok közül a P9903 hibridnél tapasztaltuk a legnagyobb eltérést a két N szint között ( $0,487$ ). A legalacsonyabb Fv/Fm értéket e genotípus csökkentett N ellátással kezelt egyedeinél ( $0,27 \pm 0,24$ ) tapasztaltuk. Az Fv/Fo és Fm/Fo arányok értékeit elemezve, a Sushi, Occitan, NK Thermo és DKC4590 hibrideknél találtunk statisztikailag igazolható eltérést a N kezelések hatása között.

#### *A fiatalabb levélen mért paraméterek*

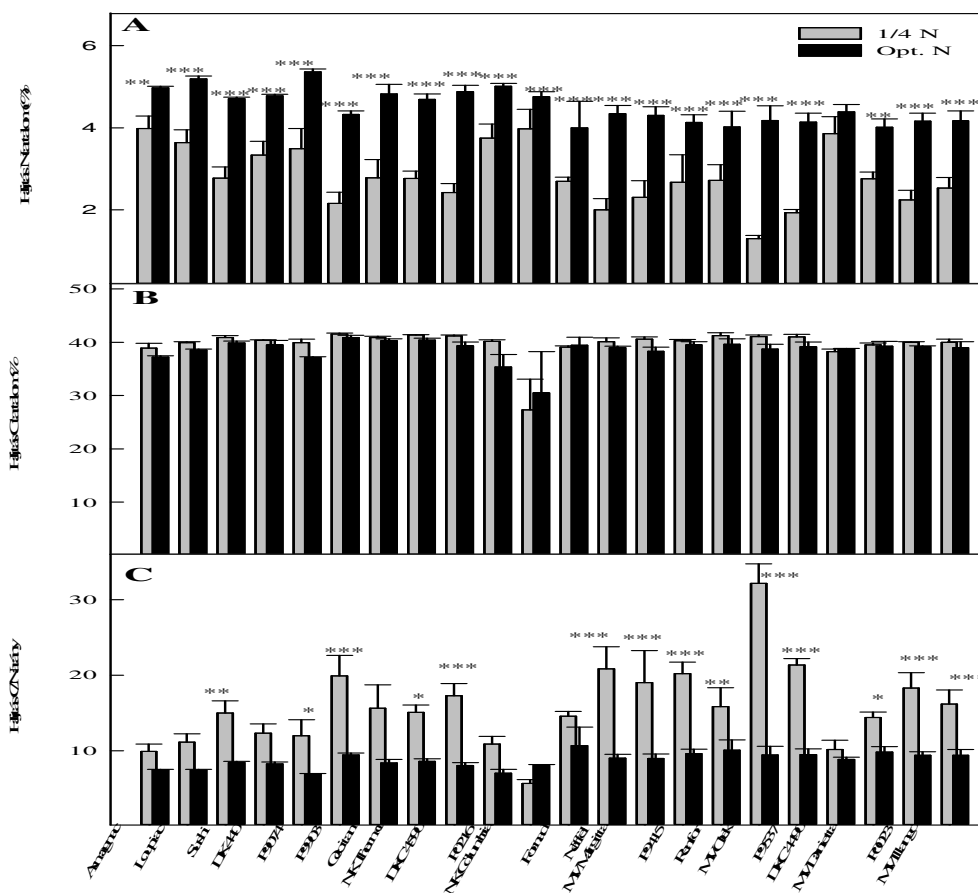
A fiatalabb levélen mért fluoreszcencia értékekre a nitrogénkezelések önmagában nem voltak szignifikáns hatással (7. táblázat). A genotípusok bár eltérő válaszreakciót adtak a N kezelése. Az Fm értéknél csak a P9903-nél az optimális ( $1,46 \pm 0,08$ ) és csökkentett N szint ( $1,24 \pm 0,03$ ), valamint a P0023 optimális ( $1,41 \pm 0,13$ ) és csökkentett N szintje ( $1,10 \pm 0,16$ ) között adódott szignifikáns eltérés. Az Fv paraméternél szintén az Fm-nél említett két genotípusra volt szignifikáns hatással a N megvonás. Ekkor a P9903 optimális ( $1,19 \pm 0,07$ ) és csökkentett N szint ( $0,99 \pm 0,03$ ), valamint a P0023 optimális ( $1,10 \pm 0,12$ ) és csökkentett N szintje ( $0,82 \pm 0,14$ ) között adódott statisztikailag is igazolható eltérés. Az Fv/Fm paraméterére csak a P0023 genotípusnál volt hatással a N megvonás. Ekkor a csökkentett a N adagnál 5,13%-kal mértünk alacsonyabb értéket. Az Fv/Fo és az Fm/Fo esetén is az említett genotípusnál találoztunk szignifikáns különbséggel. Előbbi paraméternél 18,3%, míg az utóbbinál 14,3% eltérés adódott a két N szint között az optimális N adag javára.

**7. táblázat** Az Fo, Fm, Fv, Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo értékének változása a fiatalabb 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:  $P \leq 0,05^*$

		Fo	Fm	Fv	Fv/Fm	Fv/Fo	Fm/Fo
Armagnac	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,01	1,45 $\pm$ 0,08	1,17 $\pm$ 0,07	0,81 $\pm$ 0,01	4,14 $\pm$ 0,16	5,13 $\pm$ 0,16
	Opt. N	0,28 $\pm$ 0,01	1,39 $\pm$ 0,03	1,11 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	4 $\pm$ 0,04	5 $\pm$ 0,04
Loupiac	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,39 $\pm$ 0,06	1,12 $\pm$ 0,05	0,81 $\pm$ 0,01	4,2 $\pm$ 0,21	5,19 $\pm$ 0,21
	Opt. N	0,25 $\pm$ 0,01	1,25 $\pm$ 0,07	1 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,01	4,03 $\pm$ 0,11	5,04 $\pm$ 0,12
Sushi	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,38 $\pm$ 0,05	1,11 $\pm$ 0,04	0,8 $\pm$ 0,01	4,09 $\pm$ 0,08	5,09 $\pm$ 0,08
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,01	1,37 $\pm$ 0,02	1,1 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	4,09 $\pm$ 0,21	5,09 $\pm$ 0,21
DK 440	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,01	1,46 $\pm$ 0,07	1,17 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,01	4,11 $\pm$ 0,16	5,11 $\pm$ 0,16
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,01	1,45 $\pm$ 0,06	1,16 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,01	3,99 $\pm$ 0,16	4,99 $\pm$ 0,17
P9074	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,01	1,48 $\pm$ 0,06	1,2 $\pm$ 0,05	0,81 $\pm$ 0,01	4,24 $\pm$ 0,1	5,24 $\pm$ 0,1
	Opt. N	0,28 $\pm$ 0,02	1,42 $\pm$ 0,03	1,14 $\pm$ 0,01	0,8 $\pm$ 0,01	4,12 $\pm$ 0,26	5,12 $\pm$ 0,26
P9903	1/4 N	0,25 $\pm$ 0,01	1,24 $\pm$ 0,03*	0,99 $\pm$ 0,03*	0,8 $\pm$ 0,01	4,04 $\pm$ 0,13	5,04 $\pm$ 0,13
	Opt. N	0,28 $\pm$ 0,01	1,46 $\pm$ 0,08	1,19 $\pm$ 0,07	0,81 $\pm$ 0,01	4,27 $\pm$ 0,06	5,27 $\pm$ 0,06
Occitan	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,35 $\pm$ 0,04	1,08 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	3,97 $\pm$ 0,05	4,97 $\pm$ 0,05
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,01	1,48 $\pm$ 0,01	1,2 $\pm$ 0,01	0,81 $\pm$ 0,01	4,19 $\pm$ 0,06	5,19 $\pm$ 0,06
NK	1/4 N	0,29 $\pm$ 0,02	1,48 $\pm$ 0,07	1,18 $\pm$ 0,05	0,8 $\pm$ 0,01	4,04 $\pm$ 0,07	5,04 $\pm$ 0,07
Thermo	Opt. N	0,31 $\pm$ 0,02	1,53 $\pm$ 0,11	1,22 $\pm$ 0,09	0,8 $\pm$ 0,01	3,94 $\pm$ 0,02	4,94 $\pm$ 0,02
DKC 4590	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,43 $\pm$ 0,09	1,16 $\pm$ 0,08	0,81 $\pm$ 0,01	4,28 $\pm$ 0,14	5,28 $\pm$ 0,15
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,01	1,43 $\pm$ 0,07	1,14 $\pm$ 0,07	0,79 $\pm$ 0,01	3,9 $\pm$ 0,29	4,9 $\pm$ 0,29
P0216	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,02	1,46 $\pm$ 0,09	1,18 $\pm$ 0,07	0,81 $\pm$ 0,01	4,14 $\pm$ 0,12	5,14 $\pm$ 0,12
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,01	1,39 $\pm$ 0,04	1,12 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	4,07 $\pm$ 0,05	5,07 $\pm$ 0,05
NK	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,34 $\pm$ 0,03	1,08 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	4,06 $\pm$ 0,16	5,06 $\pm$ 0,16
Columbia	Opt. N	0,28 $\pm$ 0,01	1,48 $\pm$ 0,05	1,2 $\pm$ 0,04	0,81 $\pm$ 0,01	4,25 $\pm$ 0,07	5,25 $\pm$ 0,07
Fornad	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,02	1,23 $\pm$ 0,1	0,97 $\pm$ 0,08	0,79 $\pm$ 0,01	3,73 $\pm$ 0,09	4,73 $\pm$ 0,09
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,03	1,23 $\pm$ 0,07	0,94 $\pm$ 0,06	0,76 $\pm$ 0,02	3,29 $\pm$ 0,32	4,29 $\pm$ 0,32
Neffel	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,31 $\pm$ 0,03	1,03 $\pm$ 0,03	0,79 $\pm$ 0,01	3,78 $\pm$ 0,14	4,78 $\pm$ 0,14
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,02	1,33 $\pm$ 0,07	1,05 $\pm$ 0,06	0,79 $\pm$ 0,01	3,84 $\pm$ 0,04	4,84 $\pm$ 0,04
MV	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,01	1,18 $\pm$ 0,06	0,92 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,01	3,49 $\pm$ 0,29	4,49 $\pm$ 0,29
Margitta	Opt. N	0,24 $\pm$ 0,01	1,18 $\pm$ 0,09	0,93 $\pm$ 0,08	0,79 $\pm$ 0,01	3,82 $\pm$ 0,22	4,82 $\pm$ 0,22
P9415	1/4 N	0,3 $\pm$ 0,01	1,43 $\pm$ 0,04	1,14 $\pm$ 0,04	0,79 $\pm$ 0,01	3,86 $\pm$ 0,13	4,86 $\pm$ 0,13
	Opt. N	0,29 $\pm$ 0,02	1,4 $\pm$ 0,12	1,12 $\pm$ 0,1	0,8 $\pm$ 0,01	3,88 $\pm$ 0,08	4,88 $\pm$ 0,08
Renfor	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,01	1,23 $\pm$ 0,04	0,97 $\pm$ 0,04	0,79 $\pm$ 0,01	3,79 $\pm$ 0,01	4,79 $\pm$ 0,01
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,02	1,26 $\pm$ 0,07	0,99 $\pm$ 0,06	0,78 $\pm$ 0,01	3,61 $\pm$ 0,17	4,61 $\pm$ 0,17
MV Olek	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,01	1,19 $\pm$ 0,04	0,93 $\pm$ 0,04	0,78 $\pm$ 0,01	3,51 $\pm$ 0,12	4,51 $\pm$ 0,12
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,02	1,33 $\pm$ 0,11	1,06 $\pm$ 0,09	0,8 $\pm$ 0,01	3,97 $\pm$ 0,16	4,97 $\pm$ 0,16
P9537	1/4 N	0,26 $\pm$ 0,01	1,25 $\pm$ 0,08	0,99 $\pm$ 0,06	0,8 $\pm$ 0,01	3,88 $\pm$ 0,09	4,88 $\pm$ 0,09
	Opt. N	0,27 $\pm$ 0,01	1,31 $\pm$ 0,1	1,04 $\pm$ 0,09	0,79 $\pm$ 0,01	3,8 $\pm$ 0,17	4,8 $\pm$ 0,18
DKC 4490	1/4 N	0,27 $\pm$ 0,01	1,21 $\pm$ 0,08	0,95 $\pm$ 0,07	0,78 $\pm$ 0,01	3,57 $\pm$ 0,19	4,57 $\pm$ 0,19
	Opt. N	0,26 $\pm$ 0,01	1,25 $\pm$ 0,05	0,98 $\pm$ 0,04	0,79 $\pm$ 0,01	3,73 $\pm$ 0,12	4,73 $\pm$ 0,12
MV	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,01	1,3 $\pm$ 0,03	1,02 $\pm$ 0,02	0,78 $\pm$ 0,01	3,63 $\pm$ 0,07	4,63 $\pm$ 0,07
Danietta	Opt. N	0,31 $\pm$ 0,04	1,33 $\pm$ 0,11	1,02 $\pm$ 0,09	0,77 $\pm$ 0,03	3,4 $\pm$ 0,48	4,4 $\pm$ 0,48
P0023	1/4 N	0,28 $\pm$ 0,02	1,1 $\pm$ 0,16*	0,82 $\pm$ 0,14*	0,74 $\pm$ 0,03*	2,92 $\pm$ 0,37*	3,92 $\pm$ 0,37*
	Opt. N	0,31 $\pm$ 0,01	1,41 $\pm$ 0,13	1,1 $\pm$ 0,12	0,78 $\pm$ 0,01	3,57 $\pm$ 0,24	4,57 $\pm$ 0,24
MV	1/4 N	0,29 $\pm$ 0,01	1,4 $\pm$ 0,04	1,11 $\pm$ 0,03	0,8 $\pm$ 0,01	3,89 $\pm$ 0,1	4,9 $\pm$ 0,1
Illango	Opt. N	0,3 $\pm$ 0,04	1,27 $\pm$ 0,06	0,98 $\pm$ 0,05	0,77 $\pm$ 0,03	3,44 $\pm$ 0,48	4,44 $\pm$ 0,48

### 5.1.4. A hajtás és a gyökér szén és nitrogén tartalma

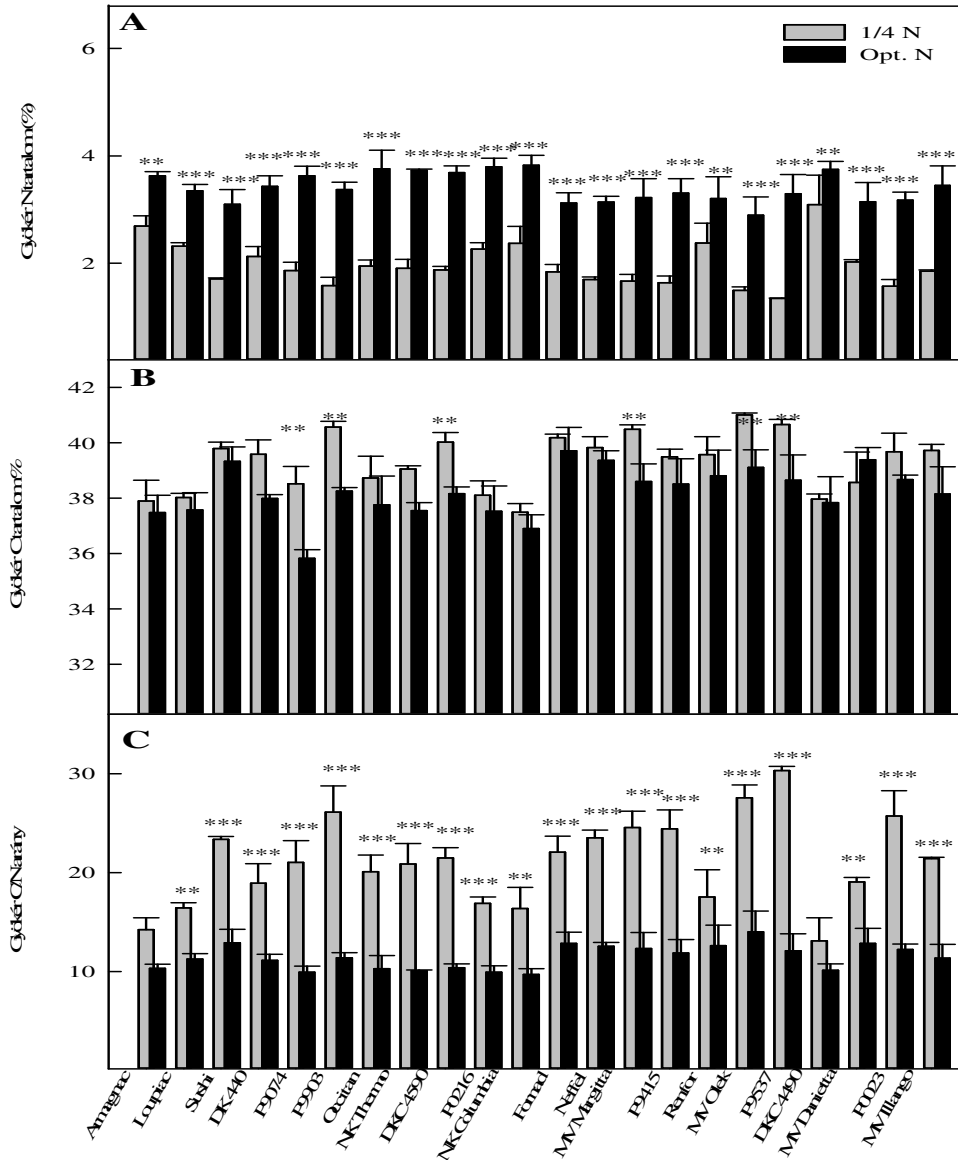
A kísérlet felszámolásakor mintát vettünk a kísérleti növények gyökeréből és hajtásából, melyből kiszáritás után meghatároztuk a minták C és N tartalmát és C/N arányát is (9. ábra). Az eredmények alapján megállapítható, hogy a kezelések átlagát figyelembe véve szignifikánsan magasabb N tartalmat mértünk a hajtásban, optimális N szint ( $4,52\% \pm 0,07$ ) mellett, mint csökkentett N adagnál ( $2,79\% \pm 0,11$ ). A vizsgált 22 darab hibrid közül csupán egynél nem volt kimutatható a N szintek közötti különbség még pedig a DKC 4490 esetén.



**9. ábra** A hajtás széntartalom (C (%)) és nitrogéntartalom (N (%)), valamint a C/N arány értékének 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:  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$

A hajtás C tartalmát vizsgálva szignifikánsan magasabb ( $3,36\%$ ) átlag értéket tapasztaltunk csökkentett N adagnál, de a N szinteket külön-külön hibridenként összehasonlítva nem volt kimutatható ez az eltérés. A C/N arány is szignifikánsan

emelkedett csökkentett N szinten ( $15,8 \pm 0,75$ ) az optimális szinthez ( $8,79 \pm 0,18$ ) képest. E paraméternél az Armagnac, Loupiac, DK440, Occitan, P0216, NK Columbia, Fornad és DKC 4490 hibrideknél nem volt kimutatható eltérés a N kezelések között.



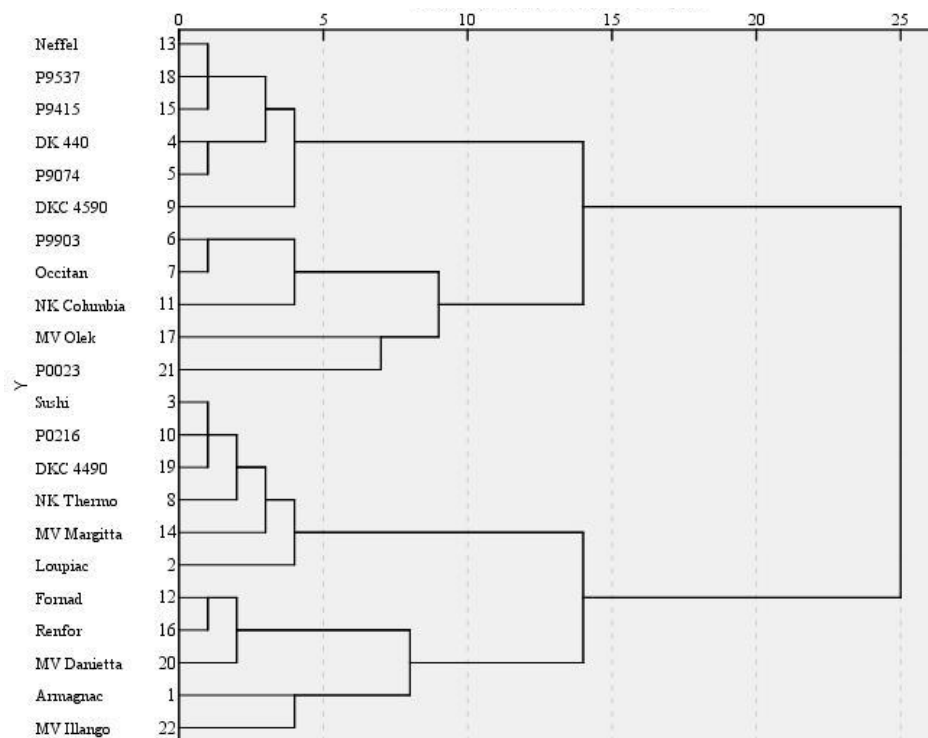
**10. ábra** A gyökér C (%) N (%) tartalmának és C/N arány értékének változása a különböző N kezelések (optimális N: opt.N, és negyedére csökkentett N :1/4 N), hatására genotípusonként (Armagnac, Loupiac, Sushi, DK440, P9074, P9903, Occitan, NK Thermo, DKC4590, P0216, NK Columbia, Fornad, Neffel, MV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

A gyökér N tartalma is magasabb volt optimális N szint mellett ( $3,41\% \pm 0,06$ ), mint csökkentett N szintnél ( $1,96\% \pm 0,06$ ), és ez minden hibrid esetén kimutatható volt (10. ábra). A széntartalomnál, ekkor is a csökkentett N szintnél tapasztaltunk magasabb ( $2,75\%$ ) értéket, a kezelések átlagát tekintve. A C/N arány is szignifikánsan emelkedett

csökkentett N szint ( $21,2 \pm 0,61$ ) esetén az optimális szinthez ( $11,5 \pm 0,25$ ) képest. Ekkor az Armagnac és a DKC 4490 hibrideknél nem volt kimutatható szignifikáns eltérés, a N szintek között.

### 5.1.5. A genotípusok csoportosítása

A kapott eredmények alapján Cluster analízis segítségével csoportokba soroltuk a genotípusokat (11. ábra). Az analízis eredményeként 2 fő halmazt különböztettünk meg, melyek közül az egyikbe a N hiányra érzékeny, míg a másikba a hatékony N hasznosítással jellemezhető genotípusokat soroltuk. Előbbi csoportba soroltuk a Neffel, P9537, P9415, DK 440, P9074, DKC 4590, P9903, Occitan, NK Columbia, MV Olek, P0023 hibrideket, míg az utóbbi csoportba került a Sushi, P0216, DKC4490, NK Thermo, MV Margitta, Loupiac, Fornad, Renfor, MV Danietta, Armagnac és MV Illango.



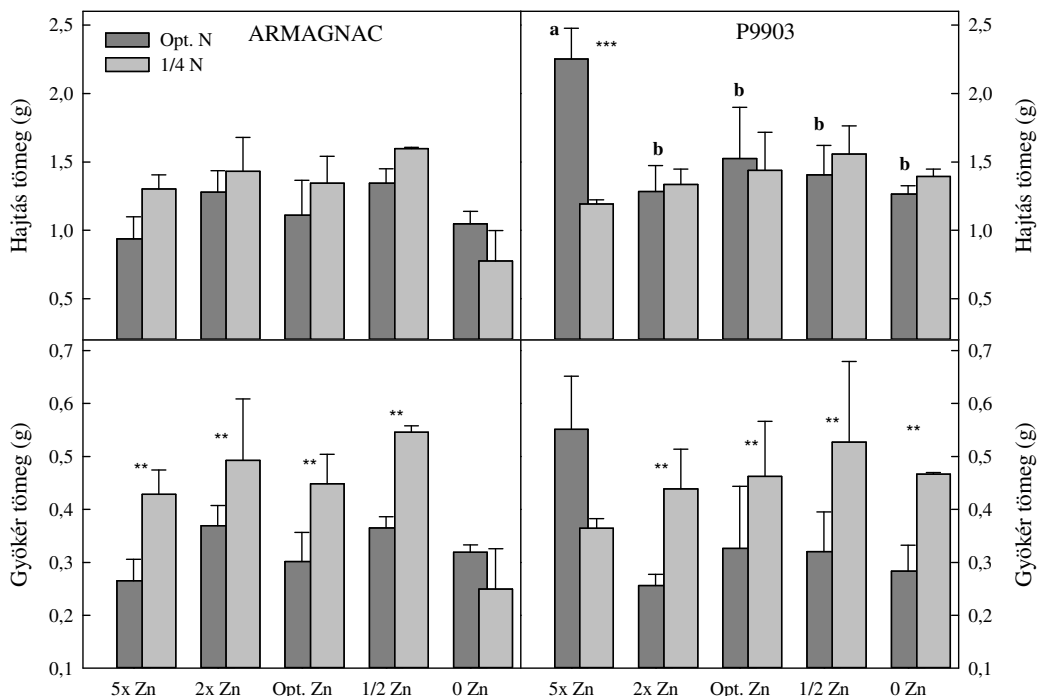
**11. ábra** A hajtás száraztömeg (g), gyökér száraztömeg (g), hajtás/gyökér arány, SLA ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ), klorofill-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), klorofill-b ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), össz. klorofill ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), karotinoid ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), klorofill-a/klorofill-b, és klorofill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

A kísérlet eredményei alapján több hibridet is kiválasztottunk, melyet Zn kezeléssel kiegészített laboratóriumi kísérletekben (genotípusok), valamint szántóföldi körülmények között tovább vizsgáltunk.

## 5.2. A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított kontrollált kísérlet

### 5.2.1. A kezelések hatása a szárazanyag tartalomra

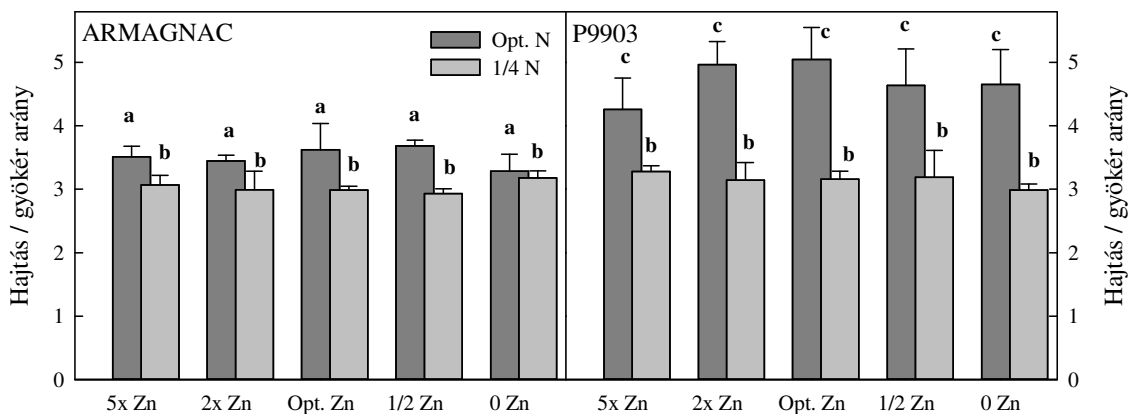
A hajtás szárazanyag tartalmának értékeit vizsgálva megállapítható, hogy a kezelések átlagait összehasonlítva sem a N sem pedig a Zn kezelések önmagukban nem voltak szignifikáns hatással a paraméterre (12. ábra). Ezzel szemben a genotípusokat összehasonlítva jelentősen magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 (1,47g  $\pm$ 0,07) esetében, mint az Armagnacnál (1,22 g  $\pm$ 0,06). Bár a kezelések hatása önmagukban nem volt jelentős, szignifikáns interakciót találtunk a N, Zn és genotípusok hatása között. E szerint a N kezelés hatása egyértelműen csak a P9903 genotípus és 5x Zn adag hatására volt kimutatható. Ekkor optimális N szintnél tapasztaltunk magasabb értéket (2,25 g  $\pm$ 0,23) a csökkentett N adaghoz képest (1,19 g  $\pm$ 0,03).



**12. 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), kétszörösére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (1/2 Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn)) kezelésekre 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 ( $P \leq 0,05$ )

Az említett kölcsönhatás más formában is megjelent a paraméternél, ugyanis a P9903 hibridnél, optimális N ellátás mellett az 5x Zn (2,25 g  $\pm$ 0,23) adag esetében szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a többi alkalmazott Zn adaghoz képest.

A kísérlet során vizsgáltuk a kezelések gyökér szárazanyag gyarapodására gyakorolt hatását is (12. ábra). A vizsgált paraméter értékeit összehasonlítva csupán a N kezelések átlagában tapasztaltunk statisztikailag igazolható eltérést. Ekkor jelentősen magasabb értéket mértünk a csökkentett N adagnál (0,44 $\pm$ 0,03g) mint az optimális N szintnél (0,34 $\pm$ 0,02g) ami 29,4% eltérést jelentett a két kezelés átlaga között. A hajtás- és gyökérszárazanyag tömeg arányának elemzésekor szignifikáns különbséget találtunk a N kezelések átlaga és a genotípusok átlaga között is (13. ábra).



**13. ábra** A hajtás és gyökér száraz tömeg arány (Hajtás/gyökér arány) értékének 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,  $\pm$ 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)

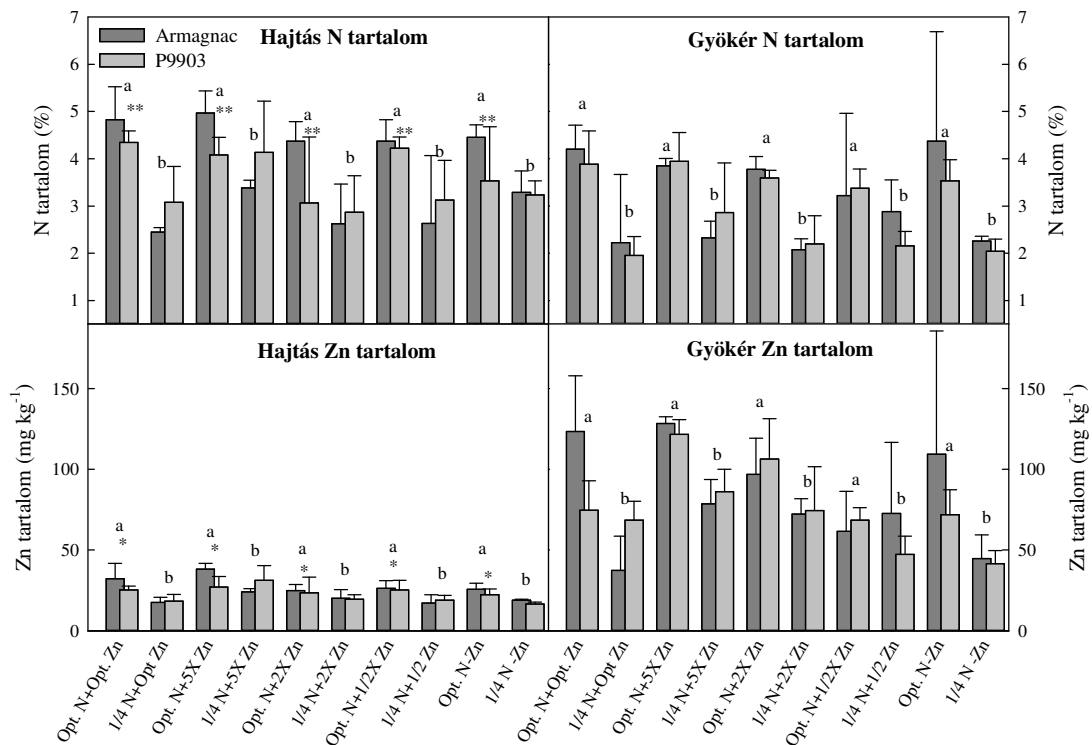
A N kezelések tekintetében optimális ellátottság (4,11 $\pm$ 0,16) mellett szignifikánsan magasabb volt a paraméter értéke, mint az alacsonyabb N szinten (3,09 $\pm$ 0,06), míg a genotípusoknál a P9903 esetében (3,93 $\pm$ 0,18) tapasztaltunk jelentősen magasabb értéket az Armagnachoz képest (3,27 $\pm$ 0,07). A Zn kezelések hatása ez esetben nem volt kimutatható. Továbbá interakciót találtunk a N kezelések és a genotípusok között. Statisztikailag igazolhatóan magasabb értéket mértünk a P9903-nál (4,71 $\pm$ 0,20) mint az Armagnac esetében (3,51 $\pm$ 0,09) optimális N szint mellett, míg a két genotípus közötti szignifikáns különbséget csökkentet N szint mellett már nem tudtuk kimutatni. Továbbá a N kezelés hatása külön-külön a két genotípusnál is igazolható volt. A két kezelés közötti különbség az Armagnacnál 13,65%, míg a P9903 esetében 33,1% volt, mindkét esetben az optimális N adag javára.

A specifikus levélterület (Specific Leaf Area=SLA) értékének változását az adott kezelések mellett, különböző korú (egy idősebb és az utolsó teljesen kifejtett) leveleken értékeltük. A kapott eredmények alapján a harmadik levélnél, sem a N sem a Zn kezelések sem pedig a genotípus nem voltak hatással a paraméterre. Tendenciáját tekintve nagyobb értékkel talákoztunk csökkentett N ellátás mellett ( $818,6 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 33,33$ ) mint optimális N adag mellett ( $789,9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 37,64$ ) valamint az Armagnacnál ( $851,7 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 36,72$ ) magasabb értéket mértünk, mint P9903-nál ( $756,9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 32,24$ ). Az utolsó teljesen kifejtett levélnél statisztikailag szignifikáns eltérést észleltünk az Armagnac hibrid javára ( $838,9 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 38,70$ ) a P9903 hibriddel szemben ( $708 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 22,67$ ).

### **5.2.2. A kezelések hatása a szövetek nitrogén és cink tartalmára**

A hajtás nitrogéntartalmának vizsgálatakor szignifikánsan magasabb értéket találtunk az optimális N adag esetén ( $4,22\% \pm 0,14$ ) a kezelések átlagát tekintve. Továbbá interakciót találtunk a N kezelések és genotípusok között. Egyfelől szignifikáns eltérést tapasztaltunk a mind az Armagnac ( $1,72\%$ ), mind pedig a P9903 ( $0,56\%$ ) esetében is a különböző nitrogén kezelések esetén mért értékek között. Másfelől vizsgálva, azonban a genotípusok közötti eltérést csupán optimális N adag mellett tudtuk kimutatni, amikor is az Armagnacnál ( $4,60\% \pm 0,12$ ) statisztikailag igazolhatóan magasabb N tartalmat mértünk, mint a P9903 ( $3,85\% \pm 0,22$ ) esetében. A Zn kezelések nem voltak hatással a paraméterre (14. ábra). A hajtás Zn tartalmának vizsgálatakor, szignifikánsan magasabb Zn tartalmat mértünk optimális N ellátás mellett ( $27,1 \text{ mg kg}^{-1} \pm 1,22$ ), mint csökkentett N adag esetén ( $20,3 \text{ mg kg}^{-1} \pm 1,01$ ).

A Zn kezelések közül az ötszörösére növelt Zn adag jelentősen növelte a hajtás Zn tartalmát ( $30,2 \text{ mg kg}^{-1} \pm 2,16$ ) a többi ellátottsági szinthez képest, azonban a többi Zn szint között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést. E paraméternél is szignifikáns interakciót találtunk a N kezelések és a genotípusok hatása között. Az Armagnacnál ( $29,5 \text{ mg kg}^{-1} \pm 1,82$ ) szignifikánsan magasabb Zn tartalmat eredményezett az optimális N adagolás a negyedére csökkentett adaghoz ( $19,6 \text{ mg kg}^{-1} \pm 2,29$ ) képest, viszont ezt nem tudtuk kimutatni a P9903 ugyanolyan N szintjénél. A genotípusok közötti eltérés csak optimális N szint mellett volt tapasztalható, amikor is az Armagnacnál ( $29,5 \text{ mg kg}^{-1} \pm 1,82$ ) mértünk magasabb értéket a P9903-hoz ( $24,7 \text{ mg kg}^{-1} \pm 1,43$ ) képest (14. ábra).

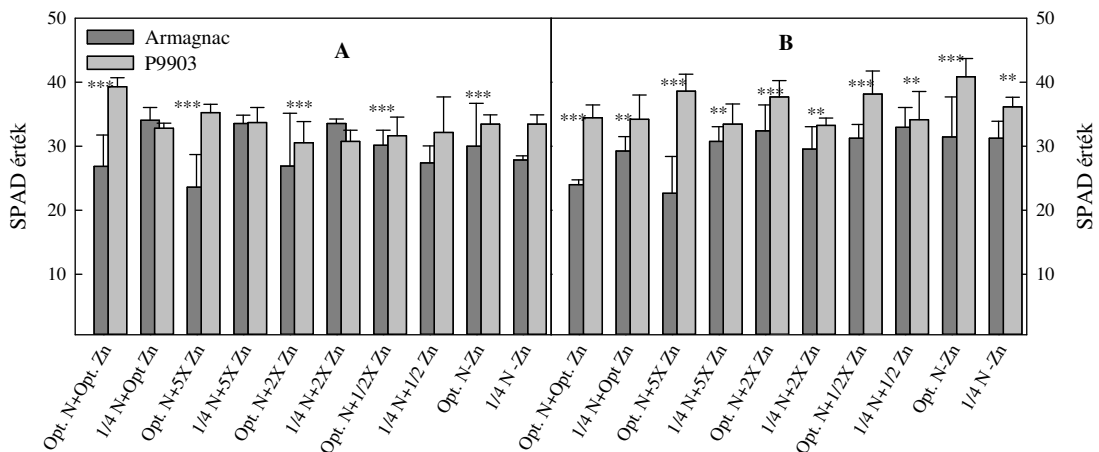


**14. ábra** A hajtás és gyökér N (m/m%) és Zn (mg kg<sup>-1</sup>) tartalmának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszeresére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (1/2 Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn) kezelések hatására genotípusonként (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,c (P<0,05)

A gyökér nitrogéntartalom eredményeinek értékelésekor azt találtuk, hogy a N kezelések átlagai között statisztikailag igazolható eltérés áll fenn. Az eredmények alapján az optimális N ellátás hatására jelentősen magasabb N tartalmat (3,78% ±0,16) tapasztaltunk, mint a csökkentett N adag mellett (2,30% ±0,12). Az egyéb tényezők hatásában nem találtunk szignifikáns eltérést (14. ábra). A gyökér Zn tartalmának vizsgálatakor, szignifikánsan magasabb Zn tartalmat mértünk optimális N ellátás mellett (96,3 mg kg<sup>-1</sup> ±6,45), mint csökkentett N adag esetén (62,4 mg kg<sup>-1</sup> ±4,40). A Zn kezelések közül az ötszörösére növelt Zn adag jelentősen növelte a gyökér Zn tartalmát (103,8 mg kg<sup>-1</sup> ±7,11) a többi ellátottsági szinthez képest, kivéve a duplájára növelt Zn szintet (87,5 mg kg<sup>-1</sup> ±7,00). Ezen felül a kétszeres Zn adag és a felére csökkentett Zn szint hatására kialakult Zn tartalom között is szignifikáns eltérést (24,9 mg kg<sup>-1</sup>) tapasztaltunk (14. ábra).

### 5.2.3. A kezelések hatása a fotoszintetikus pigmentekre

A relatív klorofill tartalomban (SPAD érték) az idősebb (harmadik) levélnél eltérést találtunk a genotípusok között. Az eredmények azt mutatják, hogy átlagban a P9903-nál ( $36,1 \pm 0,64$ ) magasabb értéket mértünk, mint az Armagnacnál ( $29,6 \pm 0,82$ ). A N hatása erős interakciót mutatott a genotípusokkal (15. ábra). Az értékek alapján az Armagnacnál nem volt kimutatható szignifikáns eltérés a N szintek között, míg a P9903-nál jelentős mértékben csökkent ( $9,75\%$ ) a SPAD értéke a N megvonás hatása. A genotípusok közötti eltérés, mind a két vizsgált N koncentrációnál kimutatható volt. A legfiatalabb teljesen kifejlett levélnél szintén szignifikánsan magasabb értékekkel talákoztunk a P9903 hibridnél ( $33,6 \pm 0,87$ ) mint az Armagnacnál ( $29,4 \pm 0,89$ ). A N kezelések hatása ezen a levélen is csak a genotípusokkal interakcióban volt kimutatható. Ekkor a P9903 esetében nem volt szignifikáns eltérés a két N szint között, míg az Armagnacnál, meglepő módon a csökkentett N adagnál ( $31,3 \pm 0,88$ ) talákoztunk magasabb értékkel az optimálishoz ( $27,5 \pm 1,42$ ) viszonyítva.



**15. ábra** A fiatalabb (A) és idősebb (B) levelek SPAD értékének változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszörösére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (1/2 Zn) csökkentett és teljes Zn megvonás (0Zn)) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) n=3,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között:  $P \leq 0,05 = *$ ,  $P \leq 0,01 = **$ ,  $P \leq 0,001 = ***$

A klorofill-a tartalom esetében külön-külön a genotípus a N szint valamint a Zn szint is szignifikáns hatással volt a paraméterre, azonban interakciót nem találtunk a faktorok hatása között. (8. táblázat) Az eredmények alapján szignifikánsan magasabb értéket mértünk a P9903-nál ( $11 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,36$ ), mint az Armagnacnál ( $9,12 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,39$ ). A csökkentett N szinten ( $9,54 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,45$ ) jelentősen csökkent a klorofill-a tartalom az optimális N szinthez képest ( $10,6 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,35$ ). Továbbá a teljes Zn megvonásnál

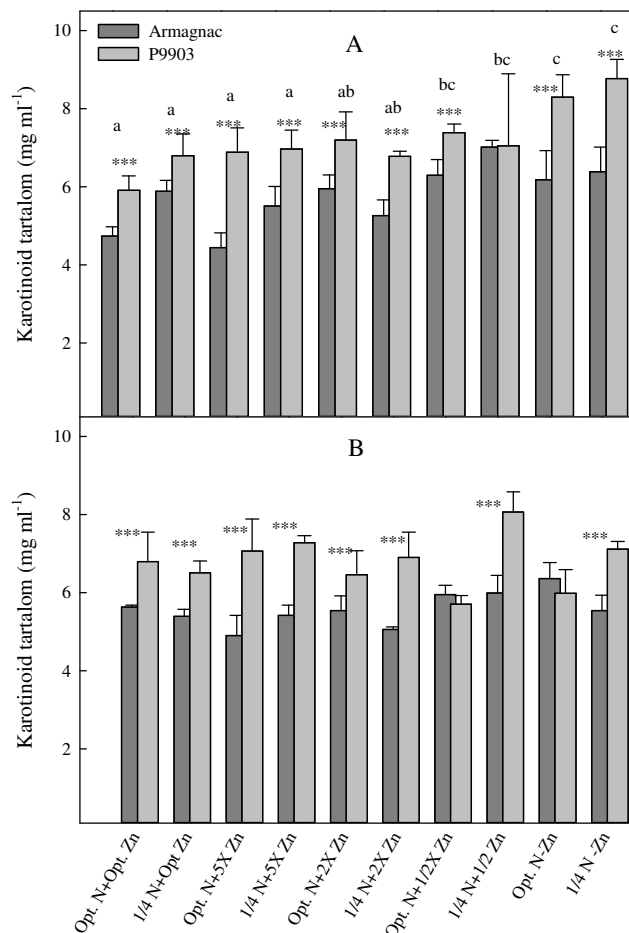
szignifikánsan magasabb ( $11,6 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,65$ ) értéket mértünk, mint az ötszörös, kétszeres és optimális Zn adagnál.

**8. 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:  $\frac{1}{4}$  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:  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$

		Klorofill-a	Klorofill-b	Teljes klorofill	Teljes karotinoid	Klorofill-a/klorofill-b	Klorofill/karotinoid
3. levél	genotípus	***	***	***	***	n.s.	n.s.
	N	**	n.s.	*	n.s.	n.s.	***
	Zn	***	***	**	**	n.s.	n.s.
	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.
5. levél	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.
	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 0 és a felére csökkentett Zn szint között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést. A genotípusok közötti eltérés a klorofill-b esetében is kimutatható volt. Az eredmények alapján a P9903-nál ( $3,81 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,23$ ) szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint az Armagnacnál ( $3,18 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,15$ ). Az eredmények alapján a legalacsonyabb Zn szintnél szignifikánsan magasabb klorofill-b tartalmat ( $4,2 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,28$ ) tapasztaltunk, mint az ötszörös és optimális adag esetén. A teljes klorofill tartalomnál, hasonló tendenciát tapasztaltunk, mint a klorofill-a tartalomnál. Az eredmények alapján szignifikánsan magasabb értéket mértünk a P9903-nál ( $14,8 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,56$ ), mint az Armagnacnál ( $12,3 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,53$ ). A csökkentett N szinten ( $12,8 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,64$ ) jelentősen csökkent a klorofill-a tartalom az optimális N szinthez képest ( $14,4 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,51$ ). Továbbá a teljes Zn megvonás esetében szignifikánsan magasabb ( $15,8 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,91$ ) értéket mértünk, mint az ötszörös, kétszeres és optimális Zn

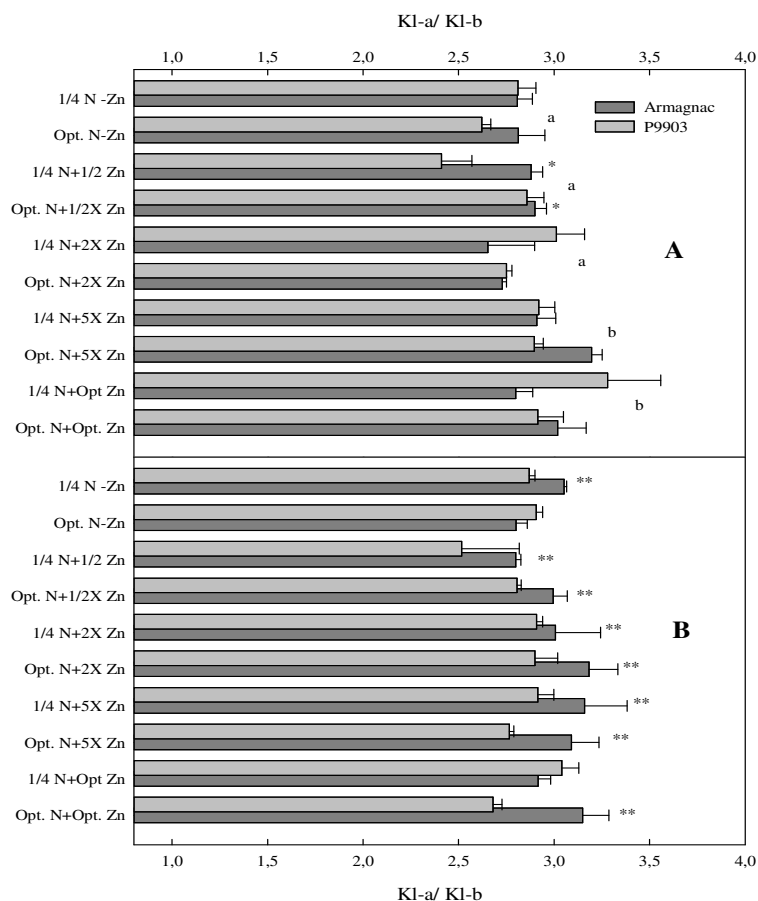
adagnál. A 0 és a felére csökkentett Zn szint között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést. A klorofill-b tartalmában a genotípusok és a Zn kezelések eredményeztek szignifikáns eltérést. A legfiatalabb teljesen kifejtett levélen a klorofill-a és klorofill-b valamint a teljes klorofill tartalomnál csak a genotípusok átlag értékei között találtunk statisztikailag jelentős eltérést. Mind a három paraméternél a P9903-nál tapasztaltunk magasabb értéket. A két hibrid közötti eltérés a klorofill-a esetében 1,45 mg ml<sup>-1</sup> klorofill-b-nél 0,74 mg ml<sup>-1</sup> illetve a teljes klorofill tartalomnál 2,19 mg ml<sup>-1</sup> volt. A genotípusok között szignifikáns eltérést tapasztaltunk az idősebb levélen mért karotinoid tartalom tekintetében. Az eredmények alapján a P9903 esetében (3,03 mg ml<sup>-1</sup>±0,10) jelentősen magasabb karotinoid tartalmat tapasztaltunk, mint az Armagnacnál (2,45±0,08 mg ml<sup>-1</sup>) (16. ábra).



**16. ábra** Az idősebb (A) és fiatalabb (B) levelek karotinoid (mg ml<sup>-1</sup>) tartalmának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszörösére (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., különbségek a N szintek között: P<0,05\*, P<0,01\*\*, P<0,001\*\*\*, különbségek a Zn szintek között a,b,c (P<0,05)

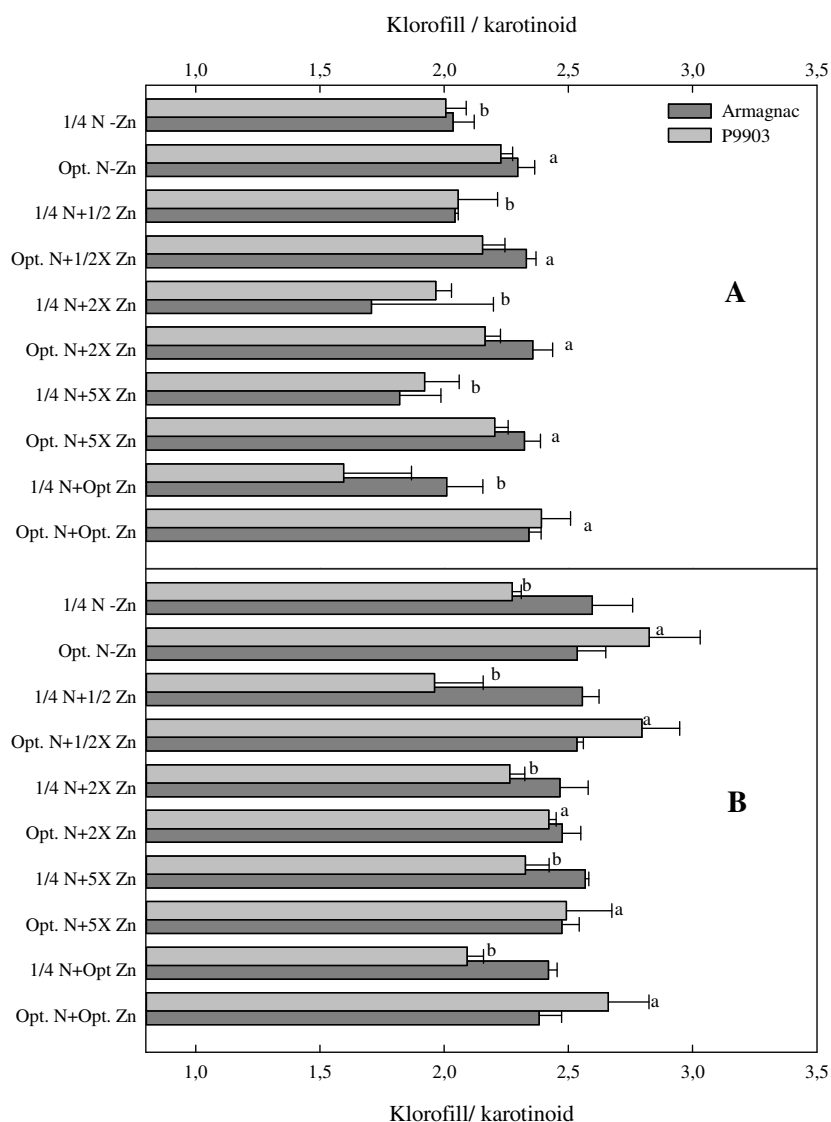
A legalacsonyabb Zn szintnél ( $3,12 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,18$ ) magasabb értéket mértünk, mint az optimális ( $2,49 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,11$ ), kétszeres ( $2,65 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,13$ ) és ötszörös ( $2,5 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,16$ ) Zn szinteknél. Továbbá a felére csökkentett Zn adagnál is szignifikánsan magasabb értéket ( $2,92 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,18$ ) tapasztaltunk, mint az optimális és az ötszörösére növelt Zn adagokkal kezelt növényeknél. A legfiatalabb vizsgált levélnél szignifikáns interakciót találtunk a N kezelések és a genotípusok hatása között. Ez a genotípusok felőli megközelítésben azt jelentette, hogy mind optimális mind pedig csökkentett nitrogén szintnél statisztikailag igazolhatóan magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 esetében. A N kezelések oldaláról megközelítve, az Armagnacnál nem találtunk szignifikáns eltérést a N kezelések hatásában, míg a P9903-nál jelentősen növekedett a karotinoid tartalom a N szint csökkentésével ( $3,02 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,09$ ) az optimális adaghoz képest ( $2,72 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,12$ ).

Az idősebb levelet vizsgálva, nem okozott eltérést egyik kezelés sem. A legfiatalabb teljesen kifejlett levélen, a klorofill-a/klorofill-b aránynál, szintén kimutatható volt a genotípusok közötti eltérés (17. ábra). Ekkor magasabb értéket tapasztaltunk az Armagnacnál ( $3,02 \pm 0,04$ ) a P9903-hoz ( $2,83 \pm 0,04$ ) viszonyítva. Továbbá e paraméterre Zn is jelentős hatással volt. Az ötszörös ( $2,98 \pm 0,08$ ) és a kétszeres ( $3,0 \pm 0,07$ ) Zn adag esetén szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk, mint a felére csökkentett Zn szintnél ( $2,78 \pm 0,08$ ).



**17. ábra** Az idősebb (A) és fiatalabb (B) levelek klorofill-a/klorofill-b arányának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszörösére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (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 fiatalabb levélnél, az alacsonyabb N szinten, a paraméter értéke  $1,92 \pm 0,06$  volt, míg optimális N szinten  $2,28 \pm 0,02$  értéket ért el, mely eltérés statisztikailag szignifikánsnak bizonyult (18. ábra). A genotípus és a Zn kezelések hatása ekkor nem bizonyult szignifikánsnak. Az idősebb levélen mért érték szignifikánsan magasabb volt az optimális N ellátottság mellett, a kezelések átlagát figyelembe véve. Jelentős interakciót találtunk a N kezelések és a genotípus hatása között. Az Armagnacnál nem volt kimutatható jelentős eltérés a N szintek között, ezzel szemben a P9903 hibridnél igen. E hibridnél optimális N adag mellett  $2,64 \pm 0,07$ , míg a csökkentett N szintnél  $2,18 \pm 0,05$  volt a paraméter értéke.



**18. ábra** Az idősebb (A) és fiatalabb (B) levelek klorofill /karotinoid arányának változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: 1/4 N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszörösére (2xZn) emelt, optimális (Opt.Zn) valamint felére (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 ( $P \leq 0,05$ )

#### 5.2.4. A kezelések hatása a klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire

Az idősebb levélnél szignifikánsan alacsonyabb volt a PSII potenciális fotokémiai hatékonyság (Fv/Fm) értéke, a csökkentett N adaggal kezelt növények esetében ( $0,78 \pm 0,02$ ) az optimális adaghoz viszonyítva ( $0,62 \pm 0,02$ ). A genotípusok között és a Zn kezelések között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést (9. táblázat). Az alap fluoreszcencia (Fo) értékét szignifikánsan befolyásolta a N, mivel ez esetben is alacsonyabb értéket mértünk csökkentett N adag mellett ( $0,29 \pm 0,03$ ) mint optimális N ellátottság mellett. Továbbá ez esetben a Zn kezelések is hatással voltak a paraméter

értékére, mivel az ötszörösére emelt Zn ( $0,29\pm 0,06$ ) adagnál szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a kétszeresére emelt ( $0,25\pm 0,02$ ) és a felére csökkentett ( $0,24\pm 0,02$ ) Zn adagok mellett. A többi Zn kezelés között nem találtunk eltérést. A maximális fluoreszcencia (Fm) és változó fluorszcencia (Fv) értékeknél hasonló eredményeket tapasztaltunk. Mind a két paraméter esetében szignifikánsan csökkent a mért érték a N adag csökkentésével. Az Fm-nél a két N szint közötti különbség 32,4% míg az Fv-nél 36% volt. Mind a két említett paraméternél megállapítható, hogy az ötszörösére növelt, és az optimális felének megfelelő Zn adag között statisztikailag igazolható eltérés tapasztalható a nagyobb adag javára. Az eredmények alapján az Fm esetében 24,7% míg az Fv-nél 27,2% volt a különbség. A többi Zn kezelés között, valamint a genotípusok között sem találtunk eltérést az említett paraméterek között. Az aktuális fotokémiai hatékonyságnál (Yield) csak a nitrogénkezelések között találtunk statisztikailag igazolható különbséget. Az eredmények alapján optimális N adag esetén ( $0,74\pm 0,003$ ) magasabb értékeket tapasztaltunk, mint a csökkentett N szint ( $0,60\pm 0,045$ ) esetén. Az Fv/ Fo paraméter esetében nem találtunk szignifikáns eltérést, míg az Fm/Fo arány értéke szignifikánsan csökkent (24,5%) a N megvonás hatására. Az utolsó kifejlett levélen mért Fv/Fm érték esetében interakciót találtunk a N hatása és a genotípusok között (9. táblázat). Az eredmények alapján optimális N szint mellett, a P9903-nál ( $0,79\pm 0,004$ ) szignifikánsan magasabb értékeket találtunk, mint az Armagnacnál ( $0,77\pm 0,003$ ). Csökkentett N adagnál már nem volt kimutatható eltérés a genotípusok között. Az Fo, Fm és Fv paramétereknél a genotípusok átlagai között találtunk statisztikailag igazolható eltérést. Az Fo-nál a P9903-nál ( $0,26\pm 0,005$ ) mértünk magasabb értéket az Armagnachoz ( $0,25\pm 0,004$ ) viszonyítva. Az Fm-nél szintén a P9903-nál ( $1,25\pm 0,02$ ) tapasztaltunk magasabb értéket az Armagnachoz ( $1,11\pm 0,02$ ) viszonyítva. Továbbá az Fv-nél is szintén a P9903 ( $0,98\pm 0,02$ ) esetében mértünk magasabb értéket az Armagnachoz ( $0,86\pm 0,02$ ) képest. A Yieldnél az Fv/Fm-hez hasonló tendenciát tapasztaltunk. Az eredmények alapján ekkor is interakciót találtunk a N kezelések és a genotípus hatásai között. Csak optimális N szint mellett tudtuk kimutatni a genotípusok közötti különbséget. Ekkor a P9903-nál ( $0,76\pm 0,002$ ) magasabb értéket mértünk az Armagnachoz ( $0,72\pm 0,007$ ) viszonyítva. Az Fv/Fo arány értékeit vizsgálva, szintén észlelhető volt a N x genotípus kölcsönhatás. Ekkor azonban csak csökkentett N adag mellett tudtuk kimutatni a genotípusok közötti eltérését.

**9. táblázat** A fiatalabb (5.) és idősebb (3.) levelek Fo, Fm, Fv, Fv/Fm Fv/Fo, Fm/Fo és Yield értékének változása a N (optimális N: opt. N, csökkentett N adag: ¼ N) és Zn (ötszörösére (5xZn), kétszörösére (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.

	Levél	Fv/Fm	Fo	Fm	Yield	Fv	Fv/Fo	Fm/Fo	
Armagnac	Opt. N + Opt.Zn	3.	0,77±0,006	0,3±0,006	1,32±0,05	0,74±0,017	1,01±0,046	2,55±0,054	4,34±0,115
	Opt.Zn	5.	0,77±0,005	0,25±0,006	1,1±0,05	0,73±0,014	0,85±0,043	3,02±0,056	4,33±0,095
	Opt. N + 5xZn	3.	0,76±0,004	0,28±0,003	1,18±0,018	0,73±0,007	0,9±0,018	2,69±0,04	4,18±0,075
		5.	0,77±0,009	0,25±0,002	1,1±0,043	0,7±0,026	0,85±0,042	3,03±0,039	4,34±0,153
	Opt. N + 2xZn	3.	0,77±0,003	0,27±0,003	1,19±0,022	0,74±0,005	0,92±0,02	2,86±0,033	4,41±0,064
		5.	0,77±0,003	0,25±0,026	1,1±0,105	0,74±0,013	0,85±0,08	3,12±0,307	4,37±0,051
	Opt. N + 1/2x Zn	3.	0,77±0,008	0,28±0,008	1,23±0,012	0,72±0,014	0,95±0,019	2,8±0,107	4,44±0,157
		5.	0,77±0,007	0,25±0,018	1,08±0,057	0,73±0,004	0,83±0,041	3,08±0,264	4,31±0,135
	Opt. N + 0Zn	3.	0,78±0,005	0,28±0,014	1,26±0,042	0,74±0,004	0,98±0,03	2,82±0,15	4,55±0,095
		5.	0,77±0,012	0,25±0,002	1,11±0,069	0,72±0,02	0,86±0,067	3,07±0,028	4,41±0,242
	1/4 N + Opt.Zn	3.	0,37±0,201	0,18±0,041	0,48±0,312	0,29±0,206	0,3±0,271	1,81±0,613	2,22±1,014
		5.	0,79±0,004	0,24±0,015	1,15±0,093	0,76±0,008	0,91±0,078	3,31±0,201	4,78±0,094
	1/4 N + 5xZn	3.	0,76±0,015	0,28±0,011	1,16±0,118	0,74±0,008	0,88±0,108	2,72±0,077	4,14±0,273
		5.	0,78±0,004	0,24±0,008	1,1±0,052	0,75±0,005	0,87±0,045	3,31±0,103	4,64±0,095
	1/4 N + 2xZn	3.	0,52±0,252	0,22±0,06	0,84±0,375	0,48±0,241	0,62±0,314	1,86±0,879	3,2±1,095
		5.	0,79±0,007	0,23±0,009	1,08±0,051	0,76±0,009	0,85±0,045	3,4±0,129	4,67±0,149
	1/4 N + 1/2xZn	3.	0,73±0,022	0,27±0,018	1±0,143	0,73±0,005	0,73±0,124	2,74±0,11	3,7±0,285
		5.	0,79±0,001	0,24±0,016	1,14±0,074	0,76±0,003	0,9±0,058	3,37±0,236	4,81±0,028
	1/4 N + 0Zn	3.	0,63±0,134	0,23±0,02	0,79±0,249	0,61±0,136	0,56±0,229	2,67±0,392	3,29±0,872
		5.	0,79±0,006	0,24±0,006	1,12±0,054	0,76±0,008	0,88±0,048	3,32±0,058	4,71±0,117
P9903	Opt. N + Opt.Zn	3.	0,78±0,002	0,29±0,004	1,36±0,016	0,75±0,004	1,07±0,014	2,66±0,036	4,62±0,04
	Opt.Zn	5.	0,8±0,006	0,25±0,015	1,24±0,054	0,77±0,001	0,98±0,041	3,16±0,204	4,9±0,15
	Opt. N + 5xZn	3.	0,79±0,005	0,3±0,009	1,4±0,078	0,76±0,004	1,1±0,069	2,65±0,071	4,69±0,126
		5.	0,79±0,003	0,26±0,01	1,25±0,05	0,77±0,001	0,99±0,041	3,1±0,123	4,87±0,076
	Opt. N + 2xZn	3.	0,79±0,005	0,29±0,015	1,4±0,063	0,75±0,006	1,1±0,05	2,69±0,156	4,75±0,112
		5.	0,78±0,014	0,23±0,024	1,07±0,163	0,76±0,005	0,84±0,14	3,4±0,322	4,55±0,27
	Opt. N + 1/2x Zn	3.	0,78±0,003	0,26±0,008	1,19±0,051	0,75±0,003	0,93±0,043	2,98±0,082	4,54±0,053
		5.	0,78±0,009	0,29±0,022	1,33±0,079	0,76±0,007	1,04±0,061	2,78±0,233	4,66±0,191
	Opt. N + 0Zn	3.	0,78±0,006	0,29±0,017	1,36±0,044	0,75±0,005	1,06±0,027	2,69±0,174	4,63±0,123
		5.	0,79±0,01	0,27±0,019	1,27±0,145	0,76±0,005	1±0,127	2,95±0,176	4,71±0,225
	1/4 N + Opt.Zn	3.	0,73±0,02	0,25±0,019	0,96±0,126	0,71±0,006	0,71±0,108	2,97±0,162	3,81±0,266
		5.	0,78±0,004	0,27±0,016	1,24±0,07	0,77±0,002	0,97±0,055	2,89±0,179	4,57±0,075
	1/4 N + 5xZn	3.	0,78±0,012	0,3±0,019	1,36±0,047	0,75±0,008	1,06±0,04	2,62±0,204	4,55±0,236
		5.	0,79±0,003	0,27±0,012	1,26±0,049	0,76±0,008	0,99±0,037	2,99±0,151	4,75±0,069
	1/4 N + 2xZn	3.	0,49±0,222	0,2±0,04	0,67±0,371	0,62±0,102	0,47±0,332	2,2±0,875	2,9±1,173
		5.	0,79±0,003	0,27±0,011	1,28±0,052	0,77±0,002	1,01±0,042	2,96±0,126	4,78±0,072
	1/4 N + 1/2xZn	3.	0,44±0,022	0,17±0,018	0,42±0,143	0,44±0,005	0,25±0,124	2,25±0,11	2,26±0,285
		5.	0,79±0,001	0,26±0,016	1,26±0,074	0,77±0,003	1±0,058	3,05±0,236	4,84±0,028
	1/4 N + 0Zn	3.	0,75±0,017	0,26±0,006	1,05±0,084	0,65±0,087	0,79±0,081	2,87±0,072	4,01±0,282
		5.	0,79±0,006	0,26±0,008	1,26±0,059	0,76±0,006	1±0,053	3,06±0,087	4,85±0,147

A genotípusok átlagát összehasonlítva az Armagnacnál 3,34±0,18 értéket, míg a P9903nál 2,99±0,17 értéket tapasztaltunk. Az Fm/Fo arány értékeit vizsgálva szignifikáns hatással volt a paraméterre a genotípus és a nitrogén kezelés is, valamint e

két faktor között statisztikailag szignifikáns interakciót is találtunk. Az interakció egyik megközelítése szerint az Armagnacnál szignifikáns eltérés volt a csökkentett ( $4,72 \pm 0,04$ ) és optimális N szintek ( $4,35 \pm 0,06$ ) esetén tapasztalt értékek között, míg a P9903-nál ez nem volt kimutatható. Az Armagnacnál a csökkentett N szint eredményezett magasabb értéket. Másik megközelítés szerint optimális N adag mellett kimutatható volt az eltérés a P9903 ( $4,74 \pm 0,08$ ) és az Armagnac ( $4,35 \pm 0,06$ ) között, míg ez az eltérés nem volt szignifikáns csökkentett N adag mellett.

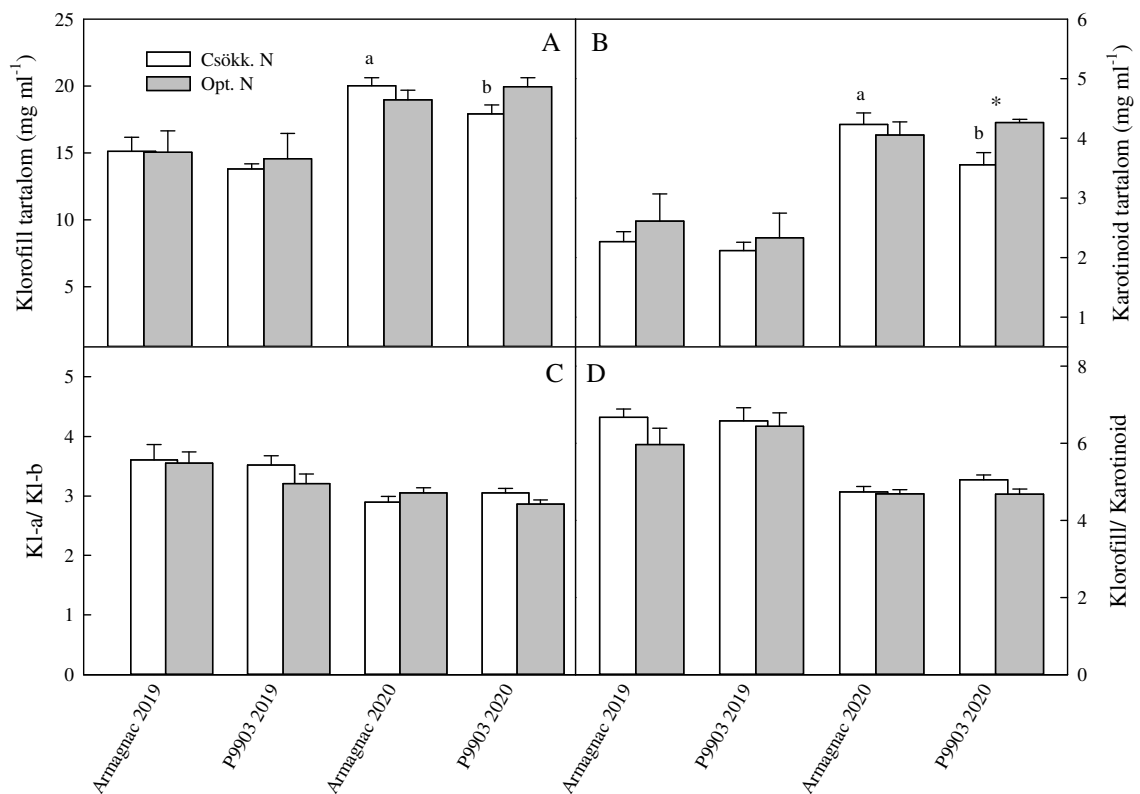
### **5.3. A nitrogén-cink kölcsönhatás vizsgálatára beállított szántóföldi kísérlet**

#### **5.3.1. Hét leveles (V7) állapot**

A Zn kezeléseket megelőzően mintavételezést végeztünk. Ekkor még csak a N kezelések történtek meg mind a két hibrid esetén, ezért ekkor még csak a genotípusokat és a N szinteket tekintettük faktornak. A 2019. tenyészidőszak első mérési időpontjában sem a genotípusok, sem pedig a N kezelések nem voltak hatással a klorofill-a, klorofill-b, teljes klorofill, valamint a karotinoidok mennyiségére, illetve e paraméterek egymáshoz viszonyított arányára se volt szignifikáns hatással egyik kezelés sem, ugyanígy a relatív klorofilltartalomra se. Az SLA-ra, valamint a hajtás teljes szárazanyagtartalmára sem volt hatással egyik kezelés sem, ahogy a klorofill fluoreszcencia indukció módszer segítségével rögzített paraméterekre sem. A legtöbb említett paraméter esetén elmondható, hogy tendenciáját tekintve magasabb értéket tapasztaltunk az optimális N szint mellett, mint a N hiányos parcelláknál, valamint a genotípusok közül az Armagnac esetén mértünk magasabb értéket.

A 2020. évi tenyészidőszakban, merően eltérő értékeket tapasztaltunk, mint a 2019. évben (19. ábra). Ekkor a N és a genotípus is szignifikáns hatást fejtett ki a klorofill-a tartalomra. Az eredményeink szerint a N kijuttatás elhagyásával szignifikánsan csökkent (8,65%) a paraméter értéke a P9903 genotípusnál. Továbbá csökkentett N szint mellett szignifikánsan magasabb értéket mértünk az Armagnacnál ( $14,9 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,33$ ) mint a P9903-nál ( $13,5 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,43$ ). A teljes klorofill tartalom esetében szintén csak a csökkentett N ellátottsági szint mellett találtunk statisztikailag igazolható eltérést a genotípusok között, ekkor is az Armagnacnál ( $20,1 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,59$ ) mértünk magasabb értéket a P9903 ( $17,9 \pm 0,65 \text{ mg ml}^{-1}$ ) ugyanilyen N adaggal kezelt egyedeihez viszonyítva. Azonos tendenciát tapasztaltunk a teljes karotinoid tartalom értékeit

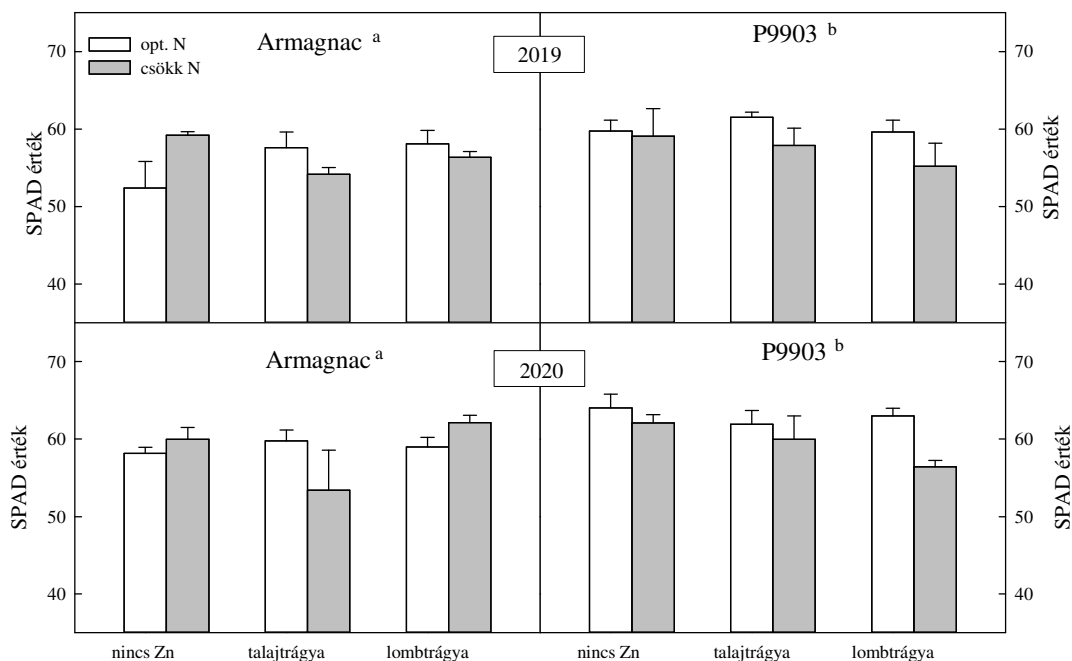
vizsgálva is. A P9903 hibridnél szignifikánsan csökkent (16,5%) a paraméter értéke a N megvonás hatására, valamint az alacsonyabb N szint mellett szignifikáns eltérést (15,9%) tapasztaltunk a két genotípus között az Armagnac javára. A különböző fotoszintetikus pigmentek egymáshoz viszonyított arányára valamint a SPAD értékre nem volt hatással egyik kezelés se, ahogy a hajtás szárazanyagtartalmára és az SLA értékre sem. A klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire esetén sem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a kezelések hatásaiban.



**19. ábra** A 7 leveles állapotban tapasztalt klorofill (mg ml<sup>-1</sup>) (A) karotinoid (mg ml<sup>-1</sup>) (B) klorofill-a/klorofill-b (C) és klorofill /karotinoid arány (D) értékeinek változása a N (opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet két évében (2019, 2020) n=3, ±s.e., különbségek a N szintek között: P≤0,05\*, P≤0,01\*\*, P≤0,001\*\*\*, különbségek a N szintek között az adott évben:a,b (P≤0,05)

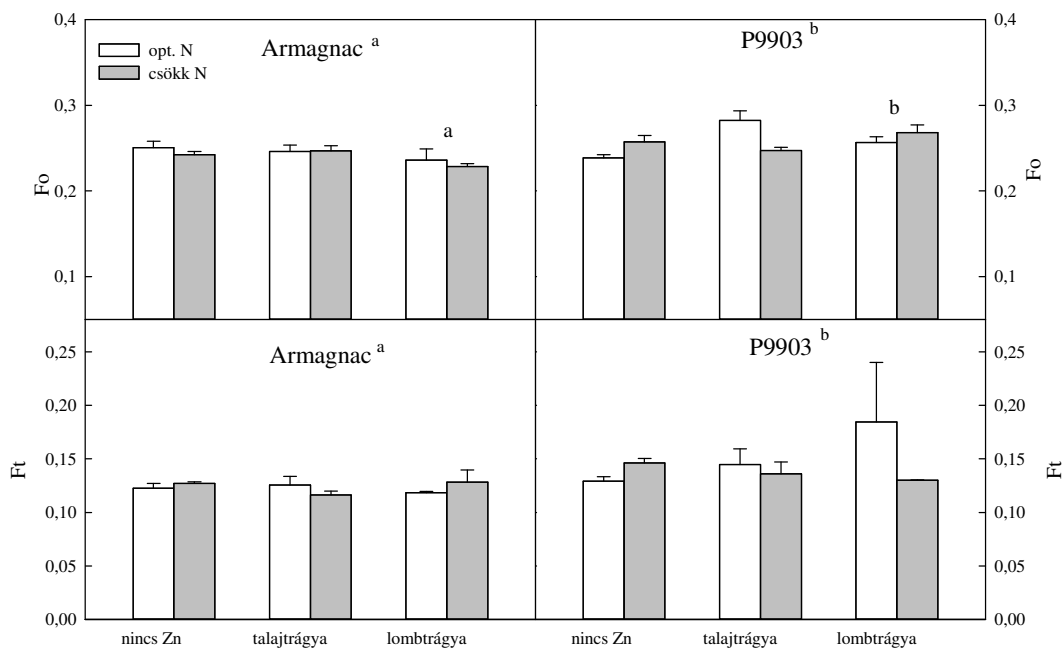
### 5.3.2. Címerhányás (VT) állapot

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 tapasztaltunk a P9903 (58,8±0,92) hibridnél, mint az Armagnacnál (56,3±0,85) (20. ábra)



**20. ábra** A címerhányás (VT) állapotban tapasztalt relatív klorofilltartalom (SPAD) értékének változása a N (opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelése hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet két évében (2019, 2020) n=3, ±s.e., különbségek a genotípusok között az adott évben: a,b (P≤0,05)

A fluoreszcencia paraméterei közül az Fo és az Ft értékeknél találtunk szignifikáns eltérést a két genotípusnál tapasztalt értékek között. Az Fo esetén 6,43% míg az Ft-nél 15,17% eltéréssel talákoztunk a P9903 javára (21. ábra).



**21. ábra** A címerhányás (VT) állapotban tapasztalt Fo és Ft értékének változása a N (opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelése hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet 2019. évben n=3, ±s.e., különbségek a genotípusok között: a,b (P≤0,05)

Ugyanebben a mintavételi időpontban a 2020. évi tenyészidőszakban hasonló tendenciát tapasztaltunk. A SPAD érték tekintetében átlagban, szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 ( $61,2\pm 0,85$ ) hibridnél mint az Armagnacnál ( $58,7\pm 1,04$ ). Szignifikáns eltérést (11,2%) tapasztaltunk az optimális N adag hatására a csökkentett N adaghoz képest, a P9903 hibrid, levéltrágyaként kijuttatott kezelése esetén. Az Fo értéknél a második évben is szignifikánsan magasabb (8,31%) értéket mértünk a P9903 esetében, mint az Armagnacnál. Az Fm értéknél szintén magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 hibridnél, valamint szignifikáns interakciót találtunk a genotípus hatása és a N ellátottság között, ugyanis a genotípusok közötti eltérést csökkentett N szinten ki tudtuk mutatni, viszont optimális N adag mellett már nem. Csökkentett N adagnál a P9903-nál  $1,59\pm 0,04$ , míg az Armagnacnál  $1,33\pm 0,03$  volt a paraméter értéke. Az Fv esetében is hasonló tendenciát tapasztaltunk. Ekkor is fennállt a N x genotípus interakció, melynél a csökkentett N adagnál a P9903-nál  $1,33\pm 0,03$ , míg az Armagnacnál  $1,10\pm 0,03$  volt a paraméter értéke. A nem fotokémiai kioltófolyamatok arányánál (qN) 4,28% eltérést tapasztaltunk a genotípusok között, az Armagnac javára, ami statisztikailag is jelentős volt. Az Fm' paraméterénél szintén a P9903 hibrid esetén mértünk jelentősen magasabb értéket (0,09) mint az Armagnacnál (10. táblázat).

**10. táblázat** címerhányás (VT) állapotban tapasztalt Fo, Fm, Fv, qN, Fm' értékének változása a N (opt. N:  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ), csökk. N adag:  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a 2020. évben  $n=3$ ,  $\pm s.e.$

		Armagnac				
		Fo	Fm	Fv	qN	Fm'
Csökk. N	nincs Zn	0,22±0,01	1,31±0,11	1,09±0,1	0,86±0,01	0,35±0,03
	lombtrágya	0,24±0,01	1,34±0,02	1,09±0,01	0,89±0,02	0,28±0,06
	talajtrágya	0,23±0,01	1,35±0,01	1,12±0,02	0,83±0,02	0,45±0,06
Opt. N	nincs Zn	0,24±0,01	1,47±0,02	1,23±0,02	0,85±0,01	0,39±0,03
	lombtrágya	0,24±0,01	1,47±0,04	1,23±0,04	0,86±0,02	0,36±0,04
	talajtrágya	0,23±0,01	1,37±0,03	1,14±0,03	0,86±0,02	0,35±0,05
		P9903				
		Fo	Fm	Fv	qN	Fm'
Csökk. N	nincs Zn	0,26±0,01	1,59±0,03	1,34±0,03	0,85±0,02	0,38±0,04
	lombtrágya	0,26±0,01	1,56±0,07	1,3±0,06	0,81±0,02	0,48±0,06
	talajtrágya	0,26±0,02	1,61±0,09	1,35±0,08	0,84±0,03	0,42±0,08
Opt. N	nincs Zn	0,23±0,01	1,4±0,09	1,17±0,08	0,78±0,01	0,55±0,03
	lombtrágya	0,26±0,02	1,61±0,14	1,34±0,12	0,82±0,01	0,46±0,01
	talajtrágya	0,26±0,01	1,58±0,03	1,32±0,02	0,83±0,04	0,44±0,1

### 5.3.3. Nővirágzás (R1) állapot

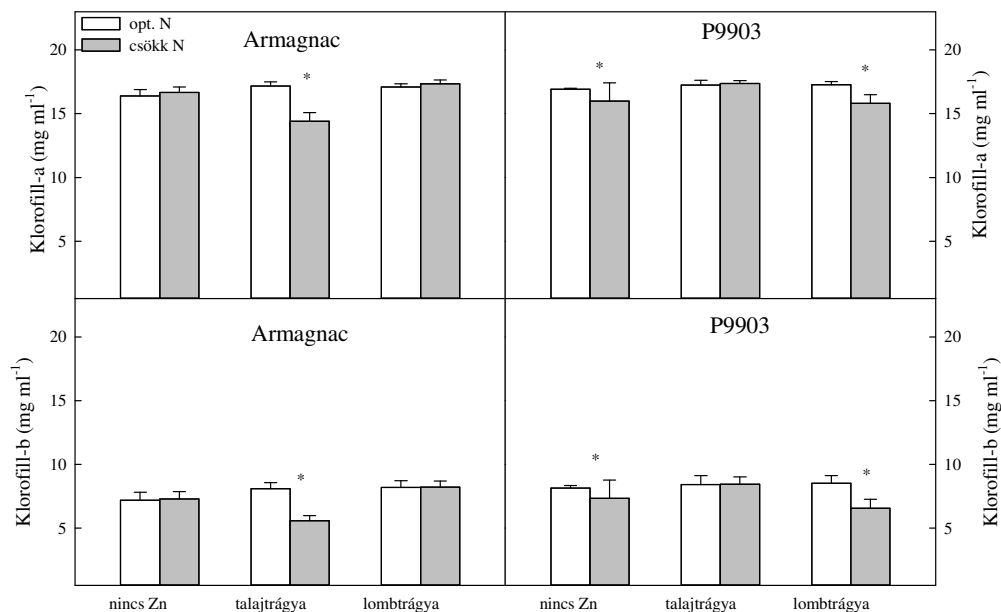
A 2019. évi tenyészidőszakban, a harmadik mintavétel alkalmával csak klorofill fluoreszcencia indukció módszer paraméterei esetében alakult ki szignifikáns eltérés a kezeléseink hatására (11. táblázat). Az Fo értéknél szignifikáns eltérést (7,83%) tapasztaltunk a két vizsgált genotípus között. A N x Zn interakció is jelentős volt ennél a paraméternél, ugyanis a N kezelés csak Zn kijuttatás nélkül volt hatással az Fo értékre. Az Fm és az Fv esetében, szignifikáns interakció állt fenn a Zn kezelések és a genotípusok között, mivel mind a két paraméternél csak levéltrágyaként kijuttatott Zn esetén volt kimutatható a két hibrid közötti különbség. Az Fm-nél 10% míg az Fv-nél 11,8%-kal volt alacsonyabb az Armagnac értéke. Továbbá az Fv-nél 5,57%-al magasabb értéket tapasztaltunk optimális N adag mellett, mint csökkentettnél. Az Fv/Fm paraméterét vizsgálva szignifikánsan magasabb értéket mértünk optimális N adagnál ( $0,82 \pm 0,01$ ), mint csökkentettnél ( $0,81 \pm 0,01$ ). Továbbá szignifikáns interakció állt fenn a Zn és genotípus hatása között, mivel ekkor jelentősen magasabb Fv/Fm-t mértünk a P9903 hibridnél Zn lombtrágya mellett, mint a talajtrágyaként alkalmazott Zn és a Zn kijuttatás nélkül kezelt parcellákon.

**11. 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<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a 2019. évben n=3,  $\pm$ s.e. a kezelések hatása:  $P \geq 0,05$  n.s.,  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$

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.

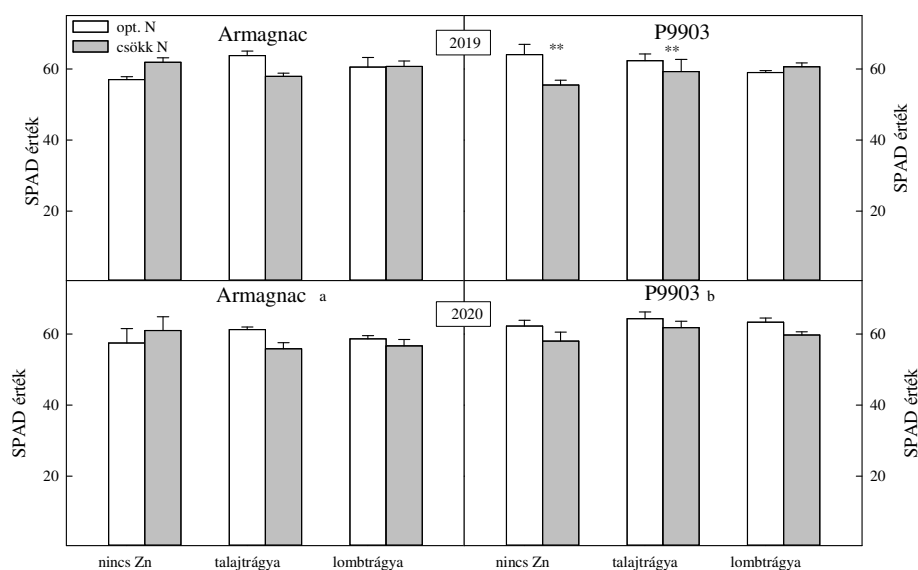
Az Fv/Fo és az Fm/Fo arány értéke is magasabb volt optimális N adag mellett, valamint e paraméterek tekintetében is jelentősen magasabb értéket mértünk Zn

lombtrágyázásnál, mint az eltérő Zn kijuttatási módok esetén a P9903-nál. A 2019. évben a fotoszintetikus pigmentek abszolút és relatív tartalmára, valamint az SLA értékre nem gyakoroltak hatást a kezeléseink. Az ETR értékére csak a Zn kezelések voltak hatással ugyanis Zn kijuttatás nélkül 42,9%-kal magasabb volt a paraméter értéke, mint Zn lombtrágyázás mellett és 53,3%-kal volt magasabb, mint Zn talajtrágyázásnál. Az aktuális fotokémiai hatékonyság, azaz a Yield valamint a qP értéke optimális N adag mellett volt magasabb (több mint 8%). Ezzel szemben a qN csökkentett N ( $0,87 \pm 0,04$ ) adag mellett szignifikánsan magasabb volt, mint optimális N adag ( $0,84 \pm 0,05$ ) esetén. Továbbá ez utóbbi paraméter az Armagnac hibridnél szignifikánsan magasabb (1,28%) volt, mint a P9903-nál. Az Fm' paraméter a P9903-nál volt magasabb (7,63%) továbbá a paraméter értéke optimális N adagnál ( $0,41 \pm 0,01$ ) magasabb volt, mint csökkentettnél ( $0,39 \pm 0,01$ ). 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 (22. ábra).



**22. ábra** A nővirágzás (R1) állapotban tapasztalt klorofill-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) és klorofill b- ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) tartalom értékének változása a N (opt. N:  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ), csökk. N adag:  $40 \text{ kg ha}^{-1}$ ) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelése hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a második évében (2020)  $n=3$ ,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között:  $P \leq 0,05^*$

A karotinoid tartalom esetében szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 hibrid talajra juttatott Zn-kel kezelt parcelláin ( $4,12 \pm 0,14 \text{ mg ml}^{-1}$ ) mint az ugyanígy kezelt Armagnac hibrid esetében ( $3,45 \pm 0,22 \text{ mg ml}^{-1}$ ).

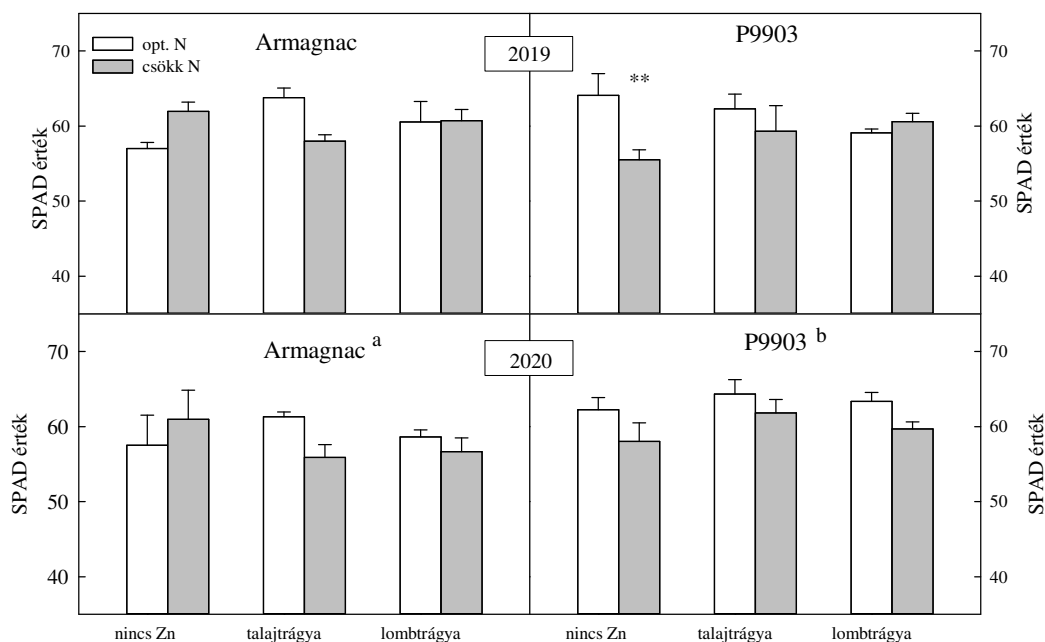


**23. ábra** A nővirágzás (R1) állapotban tapasztalt relatív klorofill tartalom (SPAD érték) értékének változása a N (opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a két évben (2019, 2020) n=3, ±s.e., különbségek a N szintek között: különbségek a N szintek között: P≤0,05\*, P≤0,01\*\*, P≤0,001\*\*\*, különbségek a genotípusok között: a,b (P≤0,05)

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 (23. ábra). A fluoreszcencia paramétereknél, a 2020. évi tenyészidőszakban és az R1 fázisban nem okozott statisztikailag igazolható eltérést egyik kezelés sem, a vizsgált paraméterekben.

#### 5.3.4. Szemtelítődés kezdete (R2) állapot

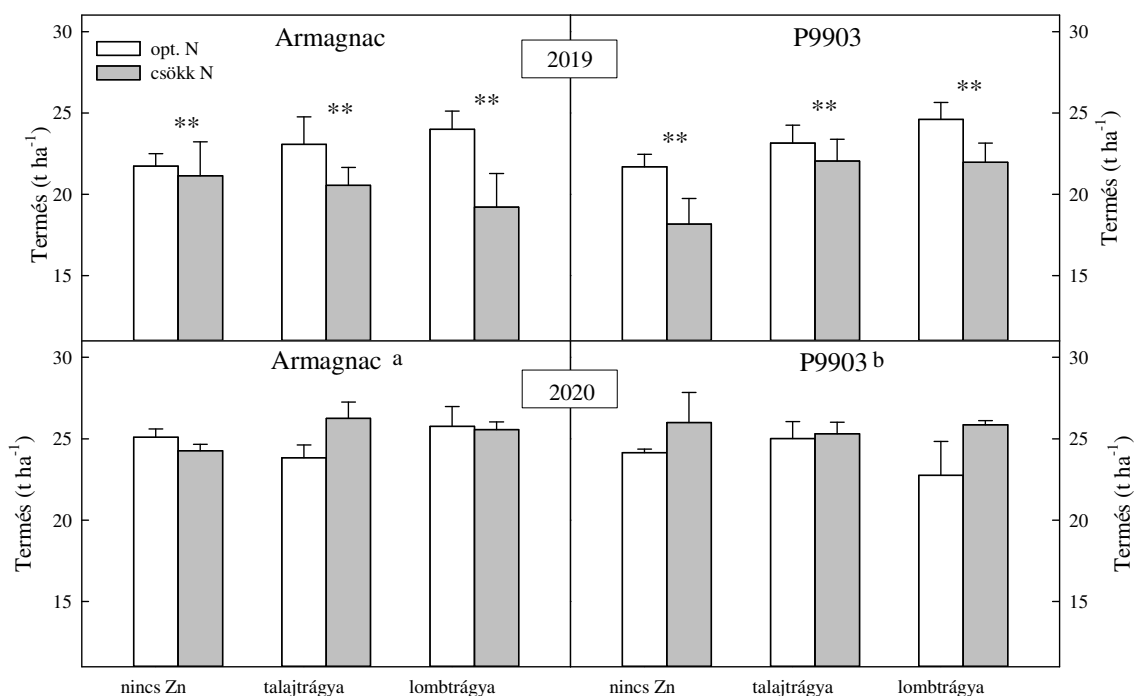
A szemtelítődés során, mintavétel nem történt, ezzel szemben a SPAD értéket felvételeztük, mind a két vizsgálati évben. 2019-ben szignifikáns interakciót találtunk a N, Zn és a genotípusok között. Ekkor a P9903 hibrid Zn nélküli kezelésénél volt kimutatható szignifikáns eltérés az optimális N (64,1±2,90) és a csökkentett N adagnál (55,5±1,33) tapasztalt SPAD érték között. A második vizsgálati évben ezt már nem tudtuk kimutatni, azonban szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a P9903 hibridnél (61,6±0,79), az Armagnachoz (58,5±1,00) viszonyítva.



**24. ábra** A szemtelítődés kezdetén (R2) állapotban tapasztalt relatív klorofill tartalom (SPAD érték) változása a N (opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet két évében (2019, 2020) n=3, ±s.e., különbségek a N szintek között: különbségek a N szintek között: P<0,05\*, P<0,01\*\*, P<0,001\*\*\*, különbségek a genotípusok között: a,b (P<0,05)

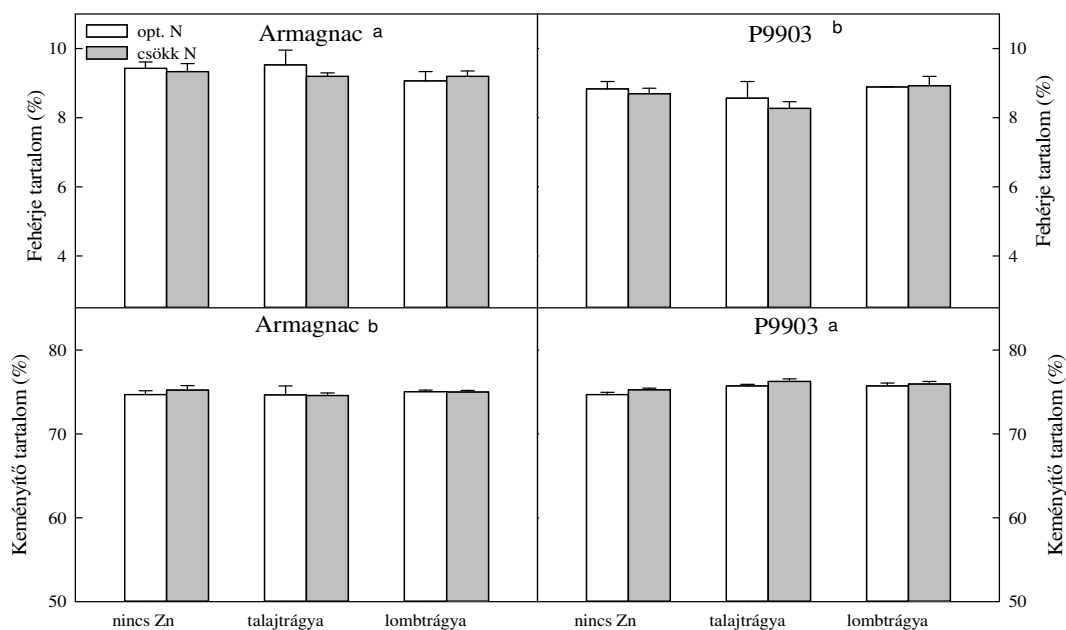
### 5.3.5. Fiziológiai érettség (R6) állapot

A 2019. évben a csuhé levelek szárazanyagtartalmára külön-külön a genotípus és a N kezelések is szignifikáns hatással voltak. A vizsgált két genotípus között 24,1% eltérés adódott az Armagnac javára, illetve optimális N szint mellett (26,1g±2,05) szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a csökkentett N adagnál (19,8g±1,44). A csutka szárazanyag tömegét vizsgálva is hasonló tendenciával talákoztunk. Ekkor a P9903-nál 14,5%-kal alacsonyabb értéket tapasztaltunk az Armagnachoz viszonyítva, továbbá csökkentett N esetén 12,9%-kal alacsonyabb értéket mértünk, mint optimális N adagnál. A csutka legvastagabb pontján mért átmérő szignifikánsan magasabb volt Armagnacnál, mint a P9903-nál. A P9903-nál a csövenkénti szemtömeg szignifikánsan alacsonyabb (12,1%) volt, mint az Armagnacnál. A vizsgált beltartalmi paraméterek tekintetében nem találtunk szignifikáns eltérést a kezelések hatásában. A 2019. évi tenyészidőszakban a termésre csupán a N kezelések voltak hatással, sem a cink sem pedig a genotípusok között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést (25. ábra). Az optimális N adaggal kezelt parcellák termésátlaga 23 t ha<sup>-1</sup>±0,47 míg a csökkentett N adagnál 20,52 t ha<sup>-1</sup>±0,65 volt. Az így kialakult terméskülönbség 2,52 t ha<sup>-1</sup> volt, ami közel 11%-nak felel meg.



**25. 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: különbségek a N szintek között:  $P \leq 0,05^*$ ,  $P \leq 0,01^{**}$ ,  $P \leq 0,001^{***}$ , különbségek a genotípusok között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

A 2020. évi tenyészidőszakban, a parcellákról begyűjtött termésminták nedvességtartalmában nem találtunk jelentős eltérést. A parcellákról lekerülő szemtermés mennyiségére az alkalmazott kezelések közül, csupán a genotípus volt szignifikáns hatással. A csuhélevelek szárazanyagtartalmát vizsgálva szignifikánsan alacsonyabb értéket tapasztaltunk a P9903-nál ( $19,9\ g \pm 0,81$ ) mint az Armagnacnál ( $23,1\ g \pm 0,96$ ). A vizsgált többi talaj feletti növényi rész szárazanyagtartalmában, valamint a gyökérszáraknál és a cső alatt felvételezett szárátmérőnél nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a kezelések hatásai között. A betakarításkor gyűjtött termésminták, szárazanyagra vonatkoztatott fehérje és keményítő tartalmát is meghatároztuk (26. ábra). Mind a két paraméterre szignifikáns hatással volt a genotípus. Az Armagnac esetében ( $9,29\% \pm 0,09$ ) szignifikánsan magasabb fehérje tartalmat mértünk, mint a P9903-nál ( $8,7\% \pm 0,11$ ), ellenben a keményítőtartalom pont ellentétesen alakult, mivel akkor a P9903-nál ( $75,6\% \pm 0,15$ ) tapasztaltunk magasabb értéket, az Armagnachoz ( $74,9\% \pm 0,20$ ) viszonyítva.



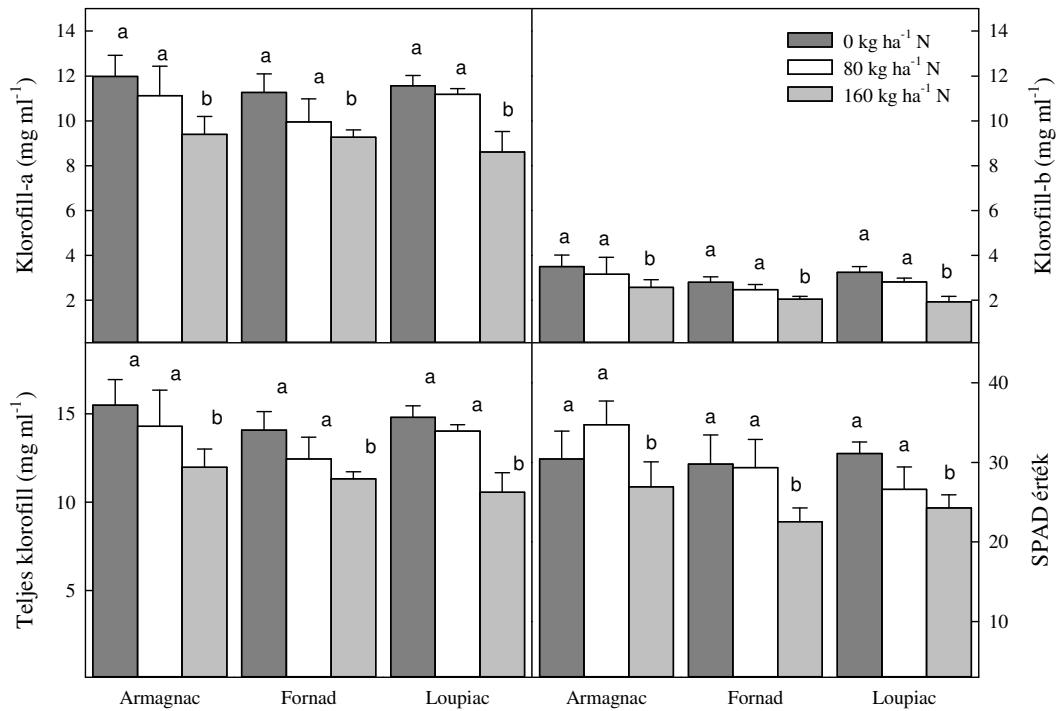
**26. ábra** A fiziológiai érettségkor (R6) tapasztalt fehérje tartalom (%) és keményítő tartalom (%) értékének változása a N ((opt. N: 160 kg ha<sup>-1</sup>), csökk. (N adag: 40 kg ha<sup>-1</sup>)) és Zn (nincs Zn, talajtrágya, lombtrágya) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, P9903) a kísérlet két évében (2019, 2020) n=3, ±s.e., különbségek a genotípusok között: a,b (P≤0,05)

#### 5.4. A nitrogén hasznosítási hatékonyság vizsgálatára beállított szántóföldi kísérlet

##### 5.4.1. Hét leveles (V7) állapot

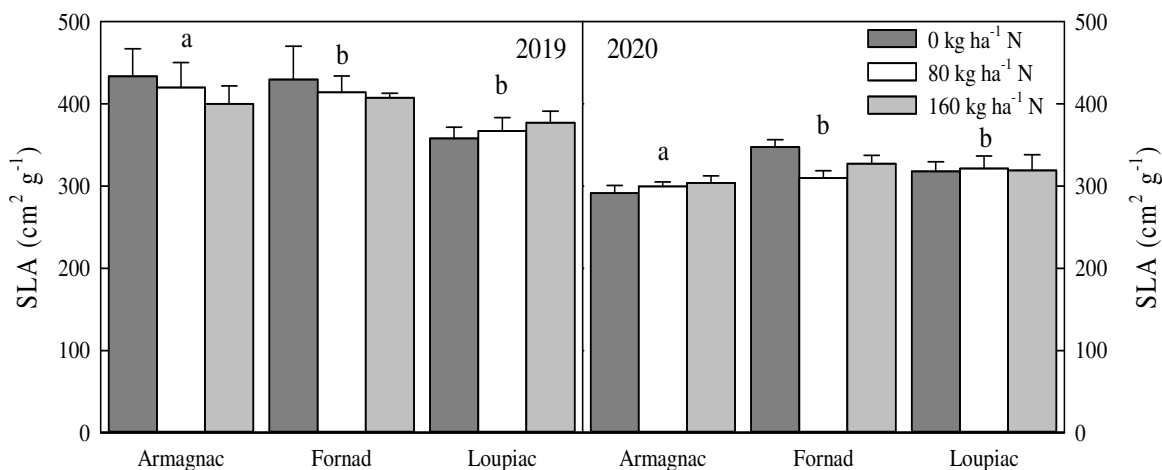
A 2018-as tenyészidőszak első mintavételi időpontjában statisztikailag szignifikáns hatással voltak kezeléseink a klorofillok abszolút és relatív mennyiségére, továbbá a szárazanyag gyarapodásra és az SLA értékre is. A SPAD értéknél a 160 kg ha<sup>-1</sup> N adaghoz képest szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk 0 kg ha<sup>-1</sup> (31,3%) és a 80 kg ha<sup>-1</sup> (22,4%) adagoknál is genotípustól függetlenül (27. ábra). A klorofill-a tartalom értékét vizsgálva megállapítottuk, hogy szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk a 160 kg ha<sup>-1</sup> N (8,62 mg ml<sup>-1</sup>±0,91) szint esetén, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> (11,6 mg ml<sup>-1</sup>±0,46) és a 80 kg ha<sup>-1</sup> (11,2 mg ml<sup>-1</sup>±0,24) szinteknél a Fornad hibrid esetében. A klorofill-b értékénél szintén szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a 0 kg ha<sup>-1</sup> és a 80 kg ha<sup>-1</sup> N szinteken, mint a legmagasabb N adagnál. A teljes klorofill tartalom is szignifikánsan alacsonyabb volt a 160 kg ha<sup>-1</sup> N (10,6 mg ml<sup>-1</sup>±1,10) szint esetén, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> (14,8 mg ml<sup>-1</sup>±0,65) és a 80 kg ha<sup>-1</sup> (14 mg ml<sup>-1</sup>±0,36) szinteken a Fornad hibridnél. A szárazanyag tartalom eredményei szerint a genotípusok közötti eltérés, csak a 80 kg ha<sup>-1</sup> N szint esetén volt kimutatható, amikor is az Armagnacnál (1,65 g ±0,21)

szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk, mint a Loupiac (4,13 g  $\pm$ 1,13) és a Fornad (3,5 g  $\pm$ 0,32) hibrideknél. Az SLA értékre szignifikáns hatással volt a genotípus, azonban ez csak a legalacsonyabb N szinten volt kimutatható. Az említett N adag mellett szignifikánsan alacsonyabb SLA értéket mértünk a Fornadnál az Armagnachoz és a Loupiachoz viszonyítva.



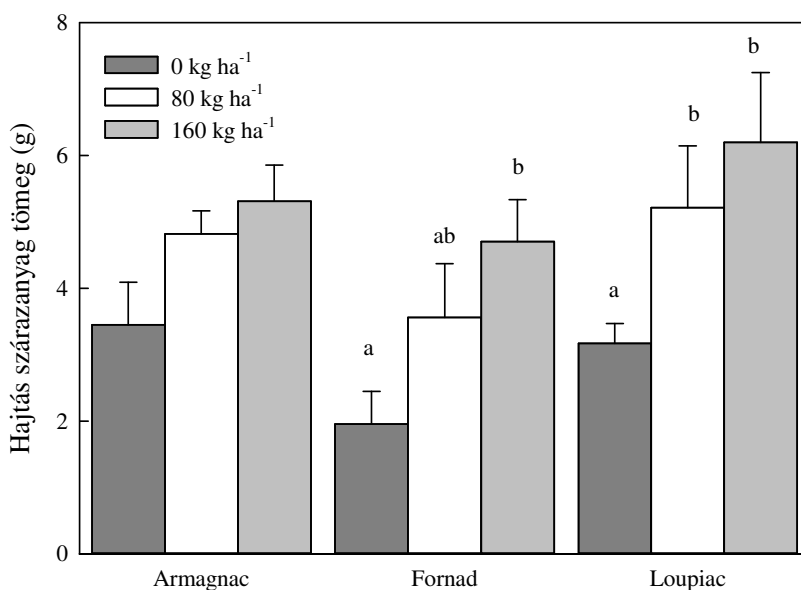
**27. ábra** A 7 leveles állapotban (V7) tapasztalt klorofill a (mg ml<sup>-1</sup>) klorofill b (mg ml<sup>-1</sup>), teljes klorofill tartalom (mg ml<sup>-1</sup>) valamint relatív klorofill tartalom (SPAD) értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) a kísérlet első évében (2018) n=4,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P $\leq$ 0,05)

2019-ben csupán az SLA és az Fo értékeknél találtunk szignifikáns eltérést a kezelések között (28. ábra). Az SLA esetében szignifikáns eltérést találtunk a Fornad (328,1 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> $\pm$ 6,73) és az Armagnac (298,3 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> $\pm$ 4,44) valamint a Loupiac (319,6 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> $\pm$ 8,12) és az Armagnac között is, a genotípusok átlagait összehasonlítva, N szinttől függetlenül. Továbbá, ha N szintenként vizsgáltuk a hibridek közötti különbséget, akkor csak a legalacsonyabb N szinten tudtuk kimutatni a Fornad (347,4 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> $\pm$ 9,06) és Armagnac (291,4 cm<sup>2</sup> g<sup>-1</sup> $\pm$ 9,27) közötti eltérést. Az alap fluoreszcencia (Fo) értékeit vizsgálva csupán a genotípusok között, azok átlagait összehasonlítva találtunk statisztikailag igazolható eltérést. Ekkor az Armagnac (0,28 $\pm$ 0,03) értékei szignifikánsan magasabbak voltak, mint a Loupiac (0,25 $\pm$ 0,06) vagy a Fornad (0,26 $\pm$ 0,06) esetén tapasztaltak.



**28. ábra** A 7 leveles állapotban (V7) tapasztalt SLA ( $\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$ ) értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) a kísérlet első és második évében (2019, 2020)  $n=4$ ,  $\pm \text{s.e.}$ , különbségek a genotípusok között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

2020-ban több paraméternél is szignifikáns eltérést tapasztaltunk. Az eredmények alapján a  $160$  és a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N szint is jelentősen magasabb szárazanyagtartalmat eredményezett átlagban, mint a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$ -s szint (29. ábra).



**29. ábra** A 7 leveles állapotban tapasztalt hajtás szárazanyag tömeg (g) értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2020-ban.  $n=4$ ,  $\pm \text{s.e.}$ , különbségek a N szintek között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

A legmagasabb és a legalacsonyabb szint között  $47,1\%$  míg a közepes és a legalacsonyabb között  $36,9\%$  eltérést tapasztaltunk. A N szintek hatását hibridenként vizsgálva, a Loupiac és a Fornad esetén az átlaggal megegyező tendenciát tapasztaltunk,

míg az Armagnacnál nem volt kimutatható eltérés a N szintek hatásában. A 0 kg ha<sup>-1</sup> (12,3 mg ml<sup>-1</sup>±0,58) és 80 kg ha<sup>-1</sup> (11,4 mg ml<sup>-1</sup> ±0,21) N adag mellett a Loupiacnál tapasztaltuk a legmagasabb klorofill-a tartalmat, míg a 160 kg ha<sup>-1</sup> szinten az Armagnacnál mértük a legmagasabb értéket (11,3 mg ml<sup>-1</sup>±0,37). A teljes klorofill tartalomnál is ezt az összefüggést találtuk. A karotinoidok mennyisége szignifikánsan magasabb (25,35%) volt a 0 N kg ha<sup>-1</sup> szinten, mint a 160 kg ha<sup>-1</sup> adag mellett, azonban a 0 kg ha<sup>-1</sup> és 80 kg ha<sup>-1</sup> valamint 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> adagnál már ez nem volt kimutatható.

#### 5.4.2. Címerhányás (VT) állapot

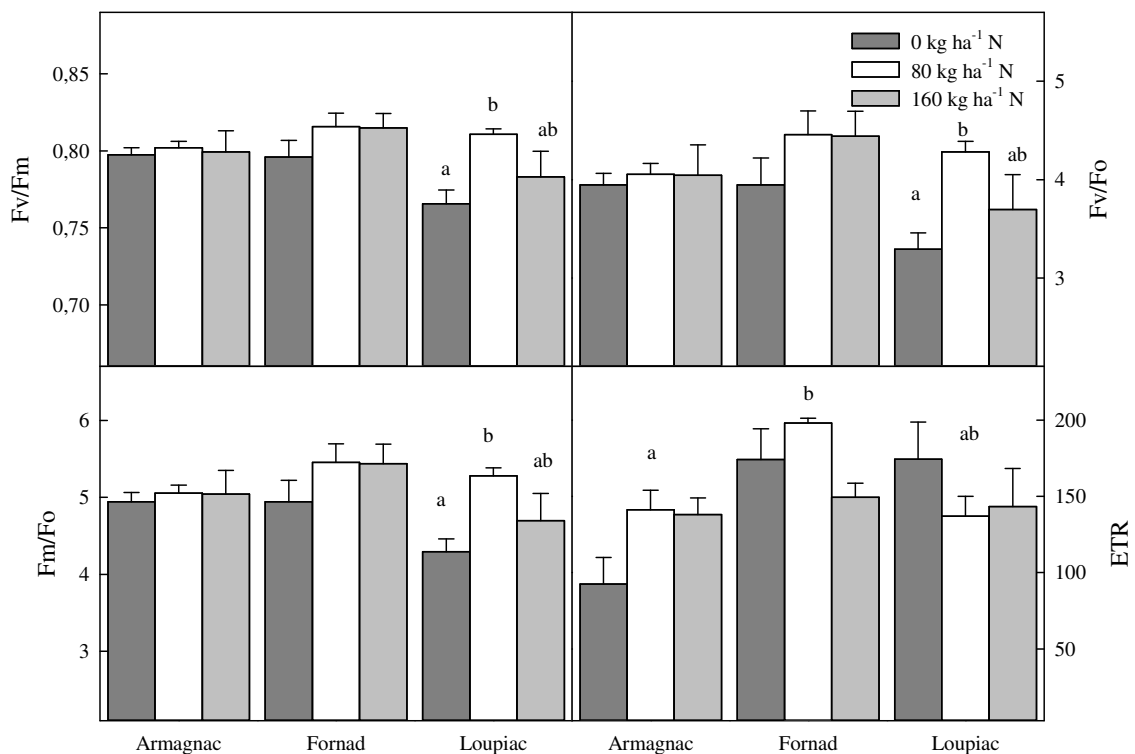
A címerhányás állapotában végzett növényállapot felvételezése során a rögzített értékek közül többre is szignifikáns hatással voltak kezeléseink (12. táblázat).

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

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

*A 2018. év eredményei*

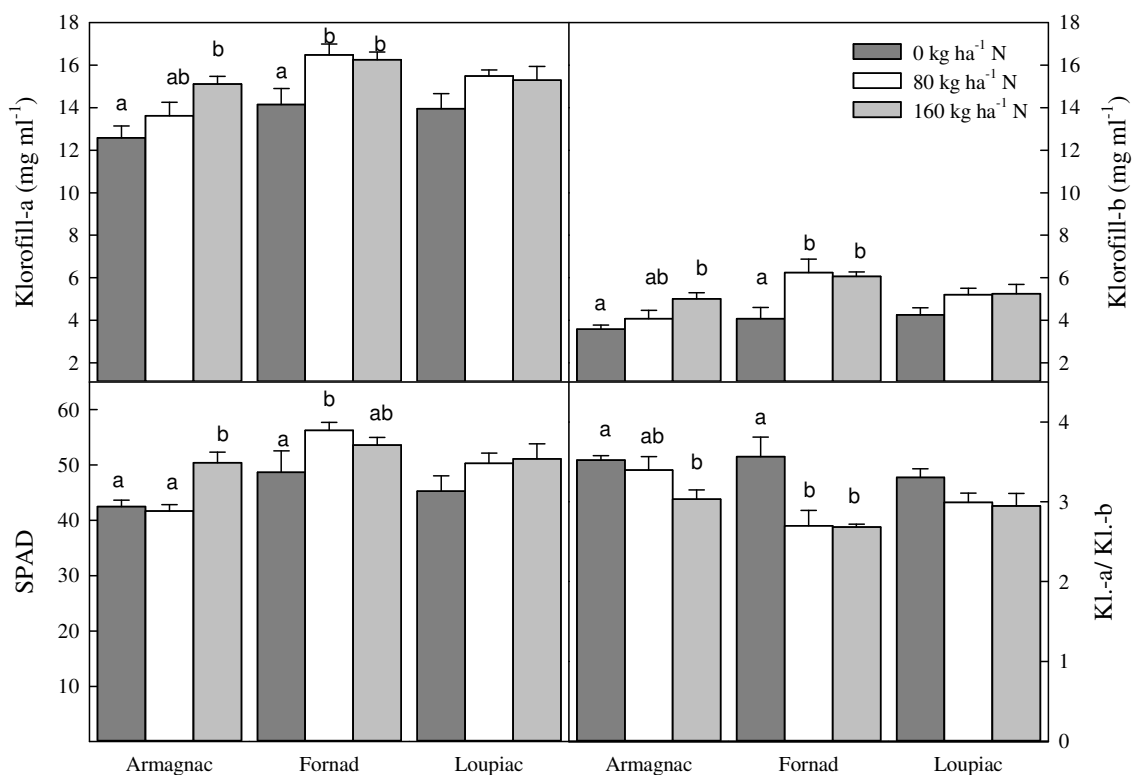
2018-ban az Fv/Fm értéknél szignifikánsan magasabb értéket mértünk a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag mellett, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> szinten (2,96%), de a 0 kg ha<sup>-1</sup> és 160 kg ha<sup>-1</sup> adagok között nem volt kimutatható szignifikáns különbség (30. ábra). A vizsgált paraméter tekintetében a legmagasabb értéket a Fornadnál mértük (0,81±0,006). Az Fv/Fo értéknél szignifikánsan magasabb értéket mértünk a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag esetén, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> szinten (12,6%), de a 0 kg ha<sup>-1</sup> és 160 kg ha<sup>-1</sup> adagok között nem volt kimutatható szignifikáns különbség. A vizsgált paraméter tekintetében a legmagasabb értéket a Fornadnál mértük (4,27±0,15). Az Fm/Fo értéknél szignifikánsan magasabb értéket mértünk a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag esetén, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> szinten (10,16%), de a 0 kg ha<sup>-1</sup> és 160 kg ha<sup>-1</sup> adagok között nem volt kimutatható szignifikáns különbség. A paraméter tekintetében a legmagasabb értéket a Fornadnál mértük (5,28±0,15).



**30. ábra** A címerhányás (VT) során tapasztalt Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo, ETR érték változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2018-ban. n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P≤0,05)

Az Fm és az Fv értékeknél is azt tapasztaltuk, hogy a N kezelés hatása csak a Loupiac hibridnél volt kimutatható. Mind a két paraméternél 80 kg ha<sup>-1</sup>-nál szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> és 160 kg ha<sup>-1</sup> szinteken. Mindkét esetben szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk a Loupiacnál, a Fornadhoz

és az Armagnachoz képest is. Az ETR-t vizsgálva a Fornadnál mértük a legmagasabb értéket ( $173,8 \pm 9,05$ ) mely szignifikánsan magasabb volt, mint az Armagnac ( $123,9 \pm 9,9$ ) értéke, de a Loupiachoz ( $151,6 \pm 12,21$ ) képest nem volt szignifikáns az eltérés. Az Fm-t vizsgálva csak a Loupiacnál találtunk eltérést a N szintek között. A  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  és a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  között  $41,8\%$  továbbá a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  és  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  adagok között  $37,3\%$  adódott. Mind a két esetben a teljes N szint csökkentése eredményezett alacsonyabb értéket. A SPAD érték tekintetében a  $160$  és a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  adagok szignifikánsan magasabb értéket eredményeztek, mint a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  adag. A  $160$  és a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  között  $12,1\%$ , míg a  $80$  és  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  között  $7,94\%$  különbség adódott.



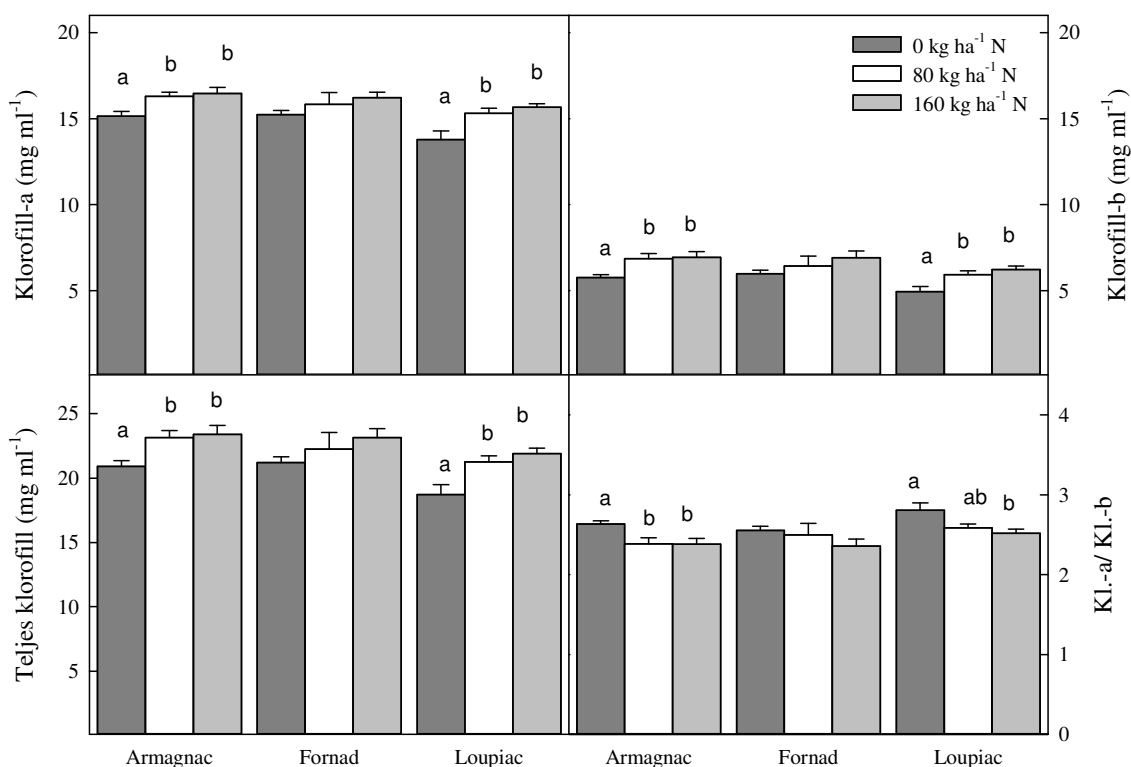
**31. ábra** A címerhányás során tapasztalt klorofill-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) klorofill-b ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), klorofill-a/klorofill-b arány (Kl.-a/Kl.-b) valamint relatív klorofill tartalom (SPAD) értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2018-ban.  $n=4$ ,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

A hibridek közül a Fornadnál tapasztaltuk a legmagasabb SPAD értéket ( $52,9 \pm 1,61$ ), míg a Loupiacnál  $48,9 \pm 1,53$  valamint az Armagnacnál  $44,9 \pm 1,42$  volt a paraméter értéke (31. ábra). A klorofill-a, klorofill-b és teljes klorofilltartalom esetében is magasabb értéket tapasztaltunk a  $160$  és  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagoknál, mint a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N-el kezelt parcellákon, ahogy az várható volt. Azonban a  $160$  és  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintek között már nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható eltérést. Mind a három paraméternél az

első kísérleti évben azt tapasztaltuk, hogy mind a Fornad, mind pedig a Loupiachoz képest szignifikánsan alacsonyabb érték volt kimutatható az Armagnacnál. A karotinoidok mennyiségére csak a genotípus, mint faktor volt hatással. Ez esetben is szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk az Armagnacnál ( $3,72 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,24$ ), mint a Loupiacnál ( $4,5 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,22$ ) és a Fornadnál ( $4,47 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,21$ ), azonban az utóbbi két hibrid között nem volt kimutatható szignifikáns eltérés. A klorofill/karotinoid arányát nem befolyásolta egyik kezelés sem, azonban szignifikáns eltérést tapasztaltunk a N kezelések és a genotípusok hatására, a klorofill-a/klorofill-b arányban. A  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N és a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N adag  $12,5\%$ , továbbá a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N és a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagnál  $16,5\%$  eltérés adódott, mind a két esetben a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adag hatására. A legmagasabb klorofill-a/klorofill-b arányt az Armagnacnál ( $3,32 \pm 0,16$ ) mértük, míg valamivel elmaradt a Loupiac ( $3,08 \pm 0,08$ ), továbbá a legalacsonyabb a Fornad ( $2,98 \pm 0,09$ ) esetén volt. Szignifikánsan magasabb SLA értéket mértünk az Armagnacnál ( $287 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 7,99$ ), mint a Fornadnál ( $236,4 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 5,85$ ) vagy a Loupiacnál ( $254,5 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1} \pm 5,69$ ), de a N szintek nem voltak hatással e paraméterre az első vizsgálati évben.

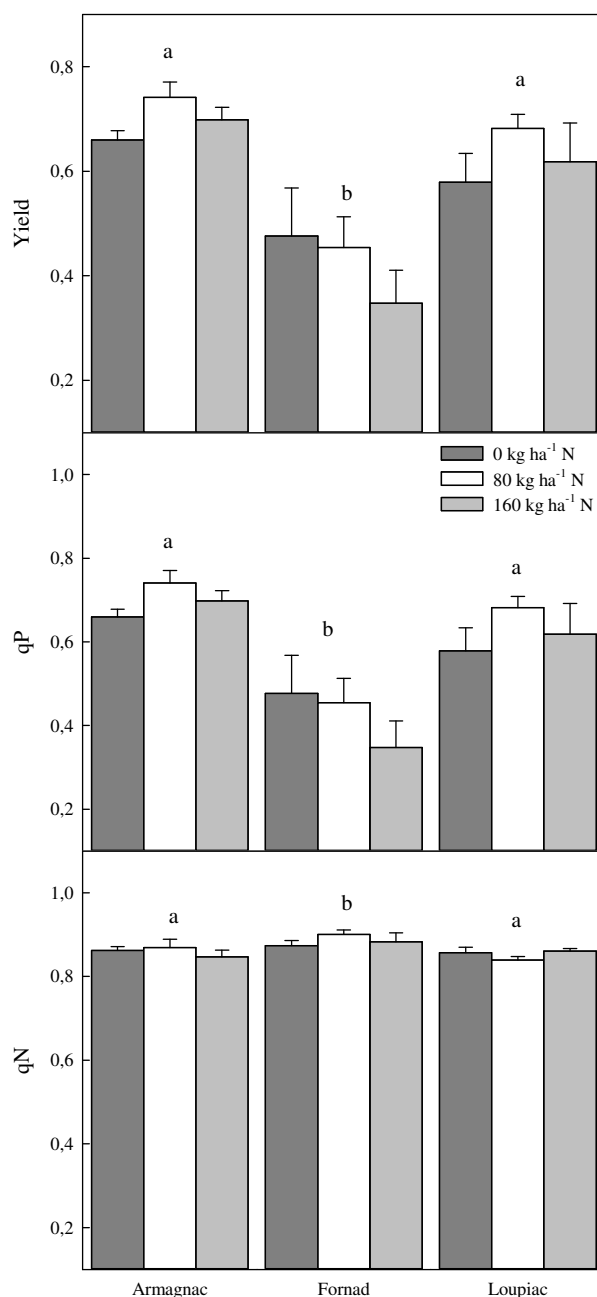
#### *A 2019. év eredményei*

A kísérlet második évében, a második mérési időpontban a fluoreszcencia paraméterek közül csak az Ft és az ETR paramétereknél tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kezeléseink hatására. Az Ft esetében a N kezelésekre eltérően reagáltak a vizsgált genotípusok. A Loupiacnál szignifikánsan eltérést tapasztaltunk a  $160$  és  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagok között ( $25,7\%$ ), valamint a  $0$  és  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N között is ( $23,4\%$ ). Előbbi esetben a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  míg utóbbinál a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  esetén tapasztaltunk magasabb értéket, de a  $0$  és  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  között nem volt kimutatható eltérés. Ezzel szemben az Armagnacnál csak a  $80$  és  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  szintek között volt kimutatható eltérés ( $24,7\%$ ), míg a Loupiacnál nem okozott különbséget egyik N kezelés sem. Az ETR-t vizsgálva a Fornadnál ( $48,1 \pm 4,59$ ) szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk, mint az Armagnacnál ( $27,8 \pm 3,62$ ) és a Loupiacnál ( $36,2 \pm 3,55$ ). A klorofill-a, klorofill-b, teljes klorofill (32. ábra) valamint karotinoid tartalmaknál is szignifikáns hatással voltak a N kezeléseink. A  $160$  és a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintek között  $8,71\%$  a klorofill-a,  $17\%$  a klorofill-b,  $11,2\%$  a teljes klorofill, valamint  $8,99\%$  különbség adódott a karotinoid tartalomban. A  $80$  és a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintek között  $6,91\%$  a klorofill-a,  $13,3\%$  a klorofill-b,  $8,75\%$  a teljes klorofill, valamint  $6,99\%$  különbség adódott a karotinoid tartalomnál. A klorofill-a, -b és teljes klorofill tartalmaknál is szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk az Armagnacnál, a Loupiachoz és Fornadhoz viszonyítva.



**32. ábra** A címerhányás (VT) során mért klorofill-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) klorofill-b ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), teljes klorofill tartalom ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) valamint klorofill-a/klorofill-b (Kl.-a/Kl.-b) arány értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2019-ben.  $n=4$ ,  $\pm \text{s.e.}$ , különbségek a N szintek között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

A karotinoidok Armagnacnál mért értéke ( $3,28 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,08$ ) csak a Loupiachoz viszonyítva ( $3 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,07$ ) volt szignifikánsan magasabb. A klorofill-a/ klorofill-b arány magasabb volt  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintnél, mint a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N szinten ( $6,57\%$ ) és a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N szinten ( $9,16\%$ ). A genotípusok között is kimutatható volt eltérés e paraméter kapcsán, ugyanis a Loupiacnál ( $2,64 \pm 0,05$ ) magasabb volt a paraméter értéke, mint az Armagnacnál ( $2,47 \pm 0,05$ ) vagy a Fornadnál ( $2,47 \pm 0,06$ ).

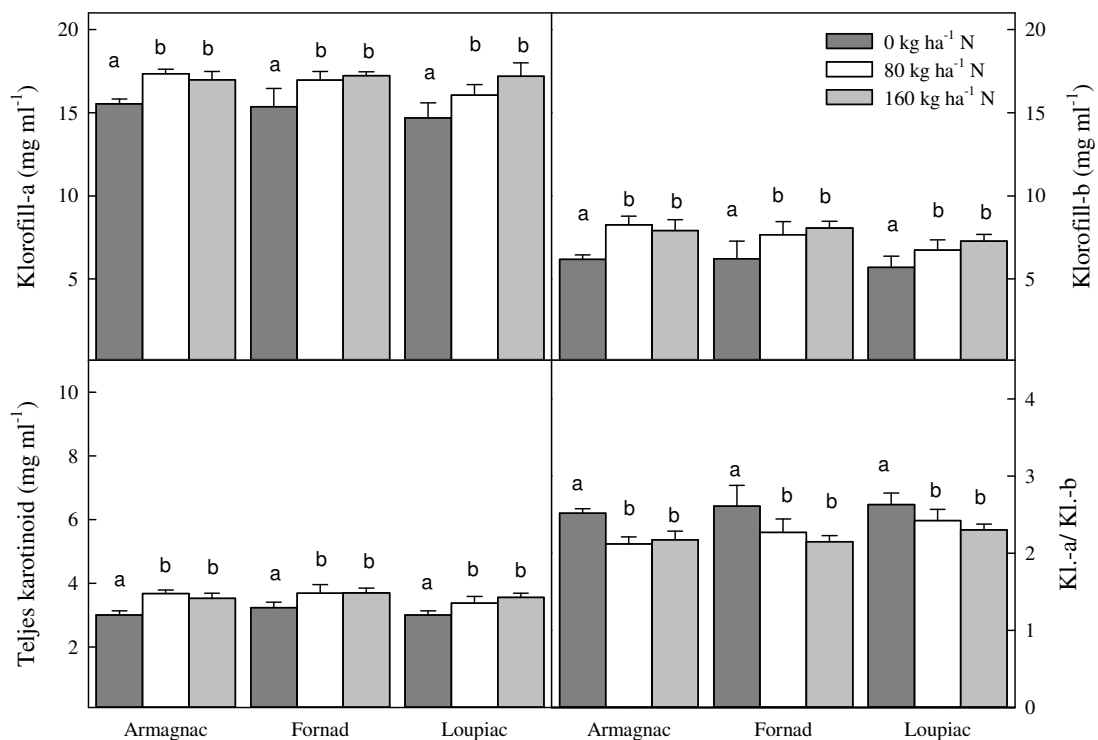


**33. ábra** A címerhányás (VT) során tapasztalt Yield, qP és qN értékek változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2020-ban. n=4,  $\pm$ s.e., különbségek a genotípusok között: a,b (P<0,05)

#### A 2020. év eredményei

A kísérlet 3. évében, az előző évihez képest eltérő eredményeket tapasztaltunk. Az Ft értékében szignifikáns eltérést eredményezett a genotípusok hatása. A Fornadnál jelentősen magasabb értéket tapasztaltunk, mint az Armagnacnál, azonban a Loupiachoz képest, illetve a Loupiac és a Fornad között nem volt kimutatható statisztikailag igazolható eltérés. A Yield értéke szignifikánsan alacsonyabb volt a Fornadnál (0,43 $\pm$ 0,42) mint a Loupiac (0,63 $\pm$ 0,03) és az Armagnac (0,70 $\pm$ 0,04) esetében (33.

ábra). A qP paraméterben is a Fornadnál ( $0,43\pm 0,04$ ) tapasztaltunk szignifikánsan alacsonyabb értéket, mint az Armagnachoz ( $0,70\pm 0,02$ ) és a Loupiachoz ( $0,63\pm 0,03$ ) viszonyítva. A qN-nél szignifikánsan magasabb értéket mértünk a Fornadnál az Armagnachoz (3,05%) és a Loupiachoz (3,84%) képest is, míg az Fm' értékében szintén a Fornadnál ( $0,29\pm 0,02$ ) mértünk alacsonyabb értéket, mint az Armagnacnál ( $0,36\pm 0,02$ ) és a Loupiacnál ( $0,38\pm 0,02$ ). A N kezelések nem voltak hatással a klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire, azonban a fotoszintetikus pigmentekben egyértelműen kimutatható volt a N utánpótlás megváltoztatásának hatása. A klorofill-a, klorofill-b, a teljes klorofilltartalom valamint a karotinoidok mennyisége is szignifikánsan magasabb volt a 160 és 80 kg ha<sup>-1</sup> N szinteken, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál tapasztalt érték. A klorofill-a/klorofill-b aránya szignifikánsan magasabb volt a 0 kg ha<sup>-1</sup> N szinten, mint a 80 (12,2%) és 160 kg ha<sup>-1</sup> N-nél (14,6%) (34. ábra).



**34. ábra** A címerhányás során mért klorofill-a (mg ml<sup>-1</sup>) klorofill-b (mg ml<sup>-1</sup>), teljes klorofill tartalom (mg ml<sup>-1</sup>) valamint klorofill-a/klorofill-b arány (Kl.-a/Kl.-b) értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2020-ban. n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P<0,05)

### 5.4.3. Nővirágzás (R1) állapot

A kutatás három éve alatt a paraméterekre eltérő mértékben voltak hatással a kezeléseink az R1 fázisban (13. táblázat). Általánosságban megállapítható, hogy a

klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire kisebb hatást gyakoroltak a kezeléseink. A nitrogén kezeléseket a legtöbb fotoszintetikus pigment tartalomhoz köthető paraméterre szignifikáns hatással voltak.

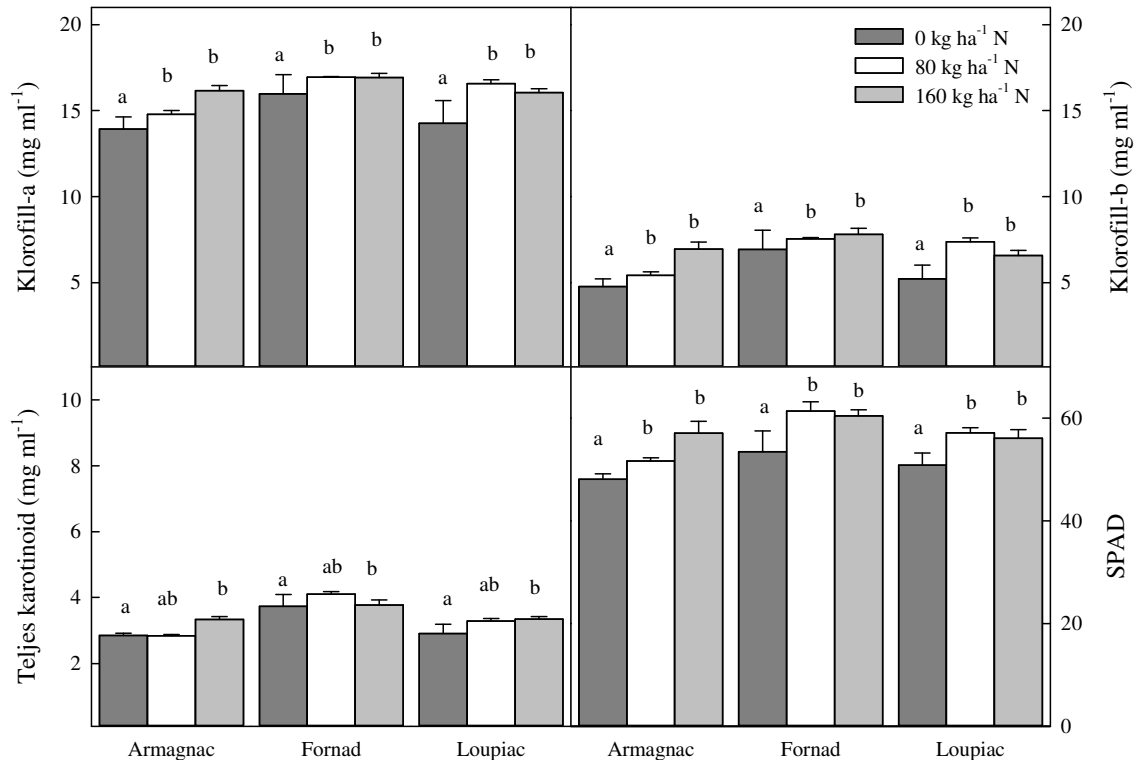
**13. táblázat** A nővirágzás (R1) során mért paraméterek esetén tapasztalt szignifikancia értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelése hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) a kísérlet 3 évében (2018, 2019, 2020) n=4,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: P $\leq$ 0,05\*, P $\leq$ 0,01\*\*, P $\leq$ 0,001\*\*\*, P $\geq$ 0,05 n.s.

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

#### A 2018. év eredményei

A 2018. évben az R1 fázisban vizsgált klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire kevésbé gyakoroltak a hatást a kezeléseink, csak a Yield-et vizsgálva találtunk eltérést a genotípusok között. Ekkor az Armagnac (0,48 $\pm$ 0,03) és a Loupiac (0,48 $\pm$ 0,03) is szignifikánsan magasabb értéket produkált, mint a Fornad (0,39 $\pm$ 0,03). Ellenben a N kezeléseket nem voltak hatással a paraméterre. A relatív klorofilltartalmat vizsgálva, szignifikánsan magasabb SPAD értéket mértünk az említett Fornad hibridnél (58,4 $\pm$ 1,75), mint az Armagnac (52,3 $\pm$ 1,37) és a Loupiacnál (54,7 $\pm$ 1,24). E paraméterre szignifikáns hatást gyakorolt a N szint változtatása is, ugyanis ekkor a 160 kg ha<sup>-1</sup> N és

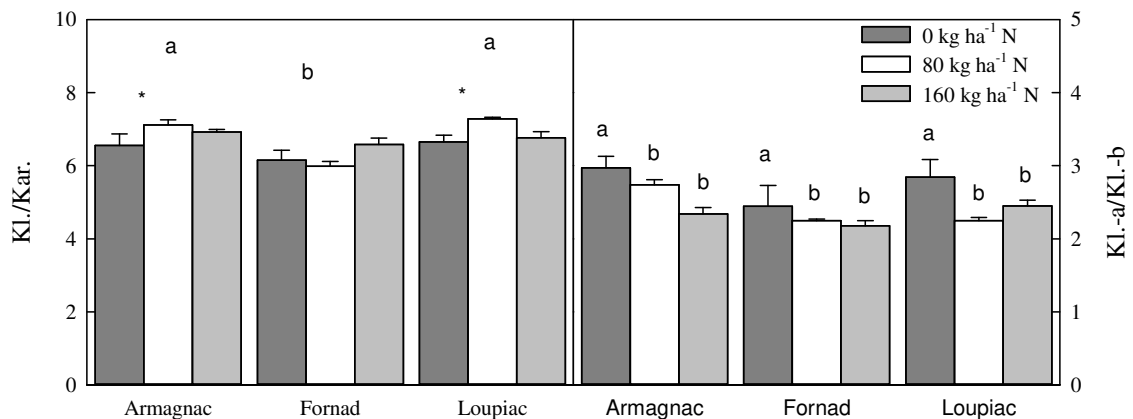
a 0 kg ha<sup>-1</sup> N között 12,2% eltérés, míg a 80 és 0 kg ha<sup>-1</sup> N szintek között 10,4% eltérés adódott ezzel szemben, a 160 kg ha<sup>-1</sup> N és 80 kg ha<sup>-1</sup> N adagok között nem volt kimutatható eltérés (35. ábra).



**35. ábra** A nővirágzás (R1) során tapasztalt klorofill-a (mg ml<sup>-1</sup>) klorofill-b (mg ml<sup>-1</sup>), teljes karotinoid tartalom (mg ml<sup>-1</sup>) valamint relatív klorofilltartalom (SPAD) értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2018-ban. n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P<0,05)

A klorofill-a, klorofill-b, teljes klorofill, valamint teljes karotinoid tartalmak esetében is azonos tendenciát tapasztaltunk, ugyanis mind a négy említett paraméternél szignifikánsan magasabb értéket mértünk a 160 és 80 kg ha<sup>-1</sup> N szinteknél mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adaggal kezelt növényeknél, továbbá e paramétereknél is szignifikánsan magasabb értékkel találkoztunk a Fornad hibridnél, a másik két vizsgált hibridhez viszonyítva. A klorofill/karotinoid arány a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag és Loupiac hibrid esetén volt a legmagasabb (7,28±0,04), míg a legalacsonyabb értéket a 0 kg ha<sup>-1</sup> N és Fornad hibridnél tapasztaltuk (6,15±0,27). A klorofill-a/klorofill-b aránya ekkor is a legalacsonyabb N szint esetén volt a legmagasabb (2,75±0,14), mely érték szignifikánsan magasabb volt, mint a 80 (2,41±0,07) és 160 kg ha<sup>-1</sup> N (2,32±0,12) adagok esetén tapasztalt érték (36. ábra). Az első kísérleti évben az SLA értékekben szignifikáns eltérést észleltünk a genotípusok között, ugyanis a Loupiacnál (255,2 cm<sup>2</sup>

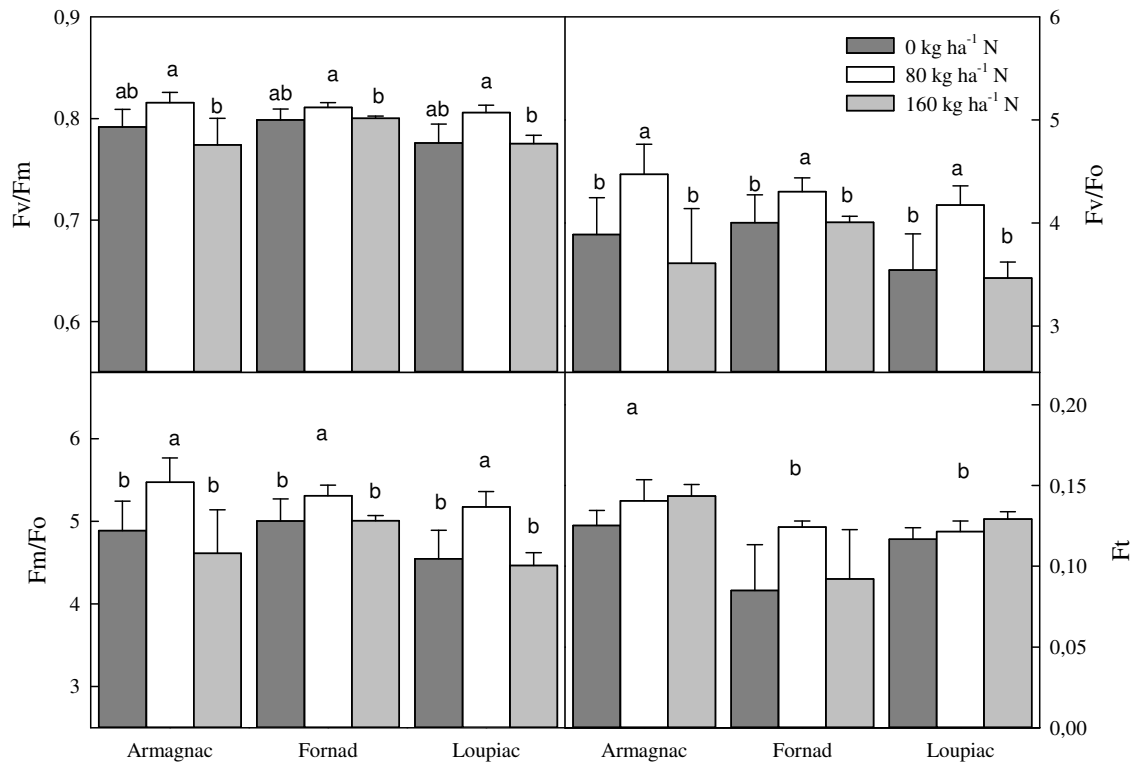
$g^{-1}\pm 8,43$ ) szignifikánsan magasabb értéket észleltünk, mint a Fornadnál ( $227,8\text{ cm}^2\text{ g}^{-1}\pm 5,37$ ) vagy az Armagnacnál ( $232\text{ cm}^2\text{ g}^{-1}\pm 4,80$ ).



**36. ábra** A növirágzás (R1) során tapasztalt klorofill/karotinoid arány valamint klorofill a/klorofill b arány értékeinek változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2018-ban. n=4,  $\pm$ s.e., különbségek a genotípusok között a klorofill/karotinoid arány esetén a,b (P≤0,05) és a N szintek között: \* (P≤0,05), továbbá különbségek a N szintek között: a,b (P≤0,05)

#### A 2019. év eredményei

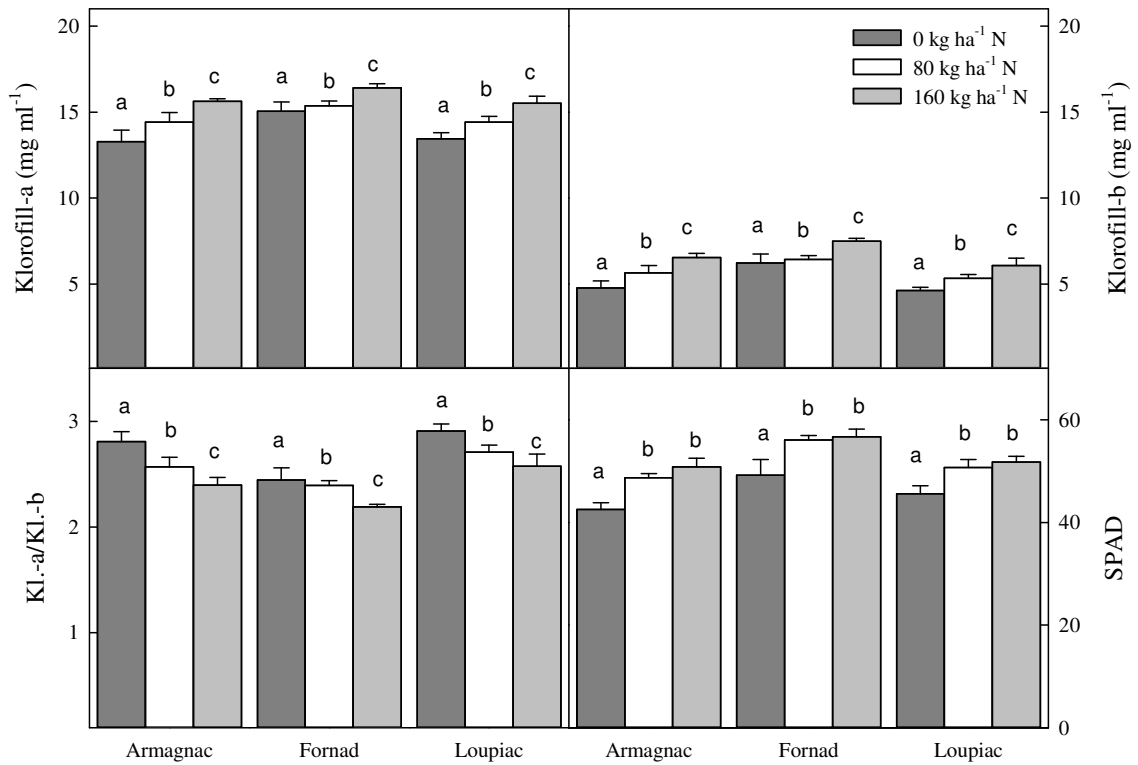
A második vizsgált tenyészidőszakban a N kezelések hatással voltak több klorofill fluoreszcencia indukció módszer segítségével mért paraméterre is (37. ábra). Az Fv/Fm érték szignifikánsan magasabb volt 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag mellett, mint 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál (3,45%). A 0 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N szintek között nem volt statisztikailag jelentős különbség kimutatható. Az Fv/Fo és Fm/Fo paramétereknél is hasonló tendenciát találtunk. Előbbinél a 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N között 14,45% míg a 80 és 0 kg ha<sup>-1</sup> N között 11,70% eltérés, míg utóbbinál 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N között 11,73% míg a 80 és 0 kg ha<sup>-1</sup> N között 9,51% eltérés adódott a kezelések átlag értékei között a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adag javára.



**37. ábra** A nővirágzás (R1) során tapasztalt Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo és Ft értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2019-ben. n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P≤0,05) valamint különbségek a genotípusok között az Ft esetén: a,b (P≤0,05)

A relatív klorofill tartalom értékeit vizsgálva szignifikánsan magasabb SPAD értéket tapasztaltunk a 160 (53,1±1,08) és a 80 (51,9±1,1) kg ha<sup>-1</sup> N szinteken, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N szinten (45,75±1,39), de a két magasabb N szint között már nem volt kimutatható jelentős eltérés (38. ábra). A klorofill-a, klorofill-b és teljes klorofill tartalom, valamint a klorofill/karotinoid arány esetén is jól megfigyelhető volt a N kezelések hatása. Mind a három paraméternél a 0 kg ha<sup>-1</sup> N szinten tapasztaltuk a legalacsonyabb pigmenttartalmat, ettől szignifikánsan magasabb értéket mértünk a 80 kg ha<sup>-1</sup> N szinten, továbbá a legmagasabb értéket a 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál mértük. Mindhárom paraméternél a legmagasabb értéket a Fornadnál mértük, mely szignifikánsan magasabb volt a Loupiachoz és az Armagnachoz képest is. A genotípusok és a N kezelések hatása között interakciót nem találtunk. A klorofill-a/klorofill-b aránya ekkor is a legalacsonyabb N szinten volt a legnagyobb (2,72±0,08), mely érték szignifikánsan magasabb volt, mint a 80 (2,56±0,05) és 160 kg ha<sup>-1</sup> N (2,38±0,06) adagok mellett tapasztalt érték. Az arány értéke a Loupiacnál volt a legmagasabb (2,73±0,06) a Fornadnál (2,34±0,05) a legalacsonyabb és a két genotípus között helyezkedett el az

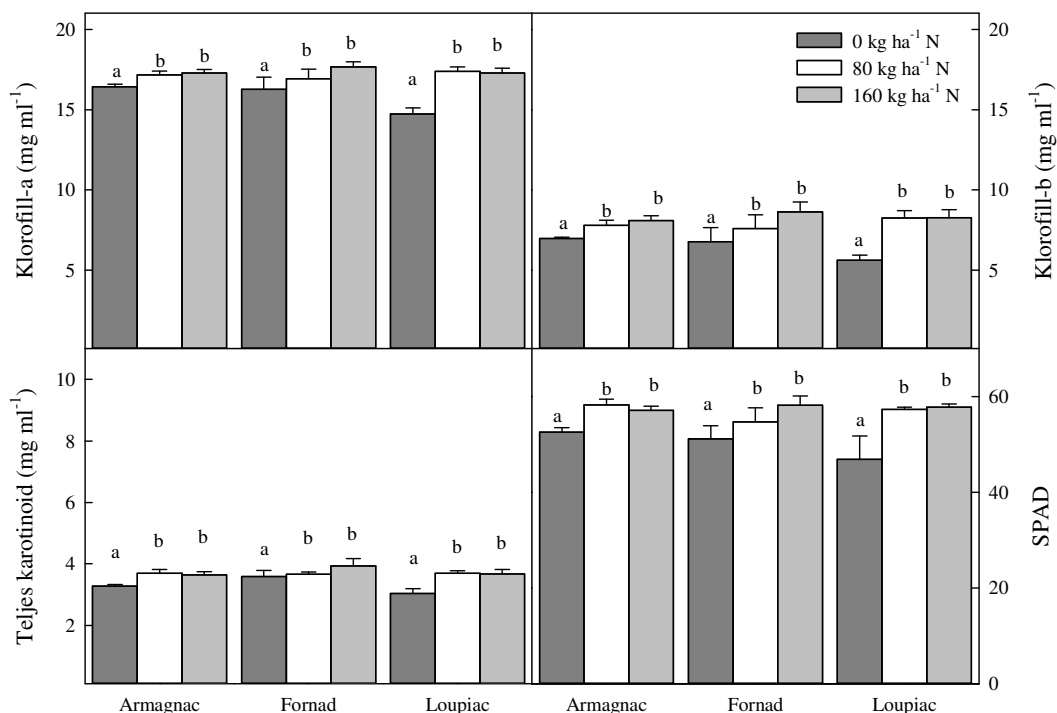
Armagnac ( $2,59 \pm 0,07$ ), ami mind három hibridnél szignifikáns eltérést eredményezett azokat összehasonlítva.



**38. ábra** A növirágzás (R1) során tapasztalt klorofil-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) klorofil-b ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), klorofil-a/ klorofil-b arány valamint relatív klorofiltartalom (SPAD) értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2019-ben.  $n=4$ ,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: a,b,c ( $P \leq 0,05$ )

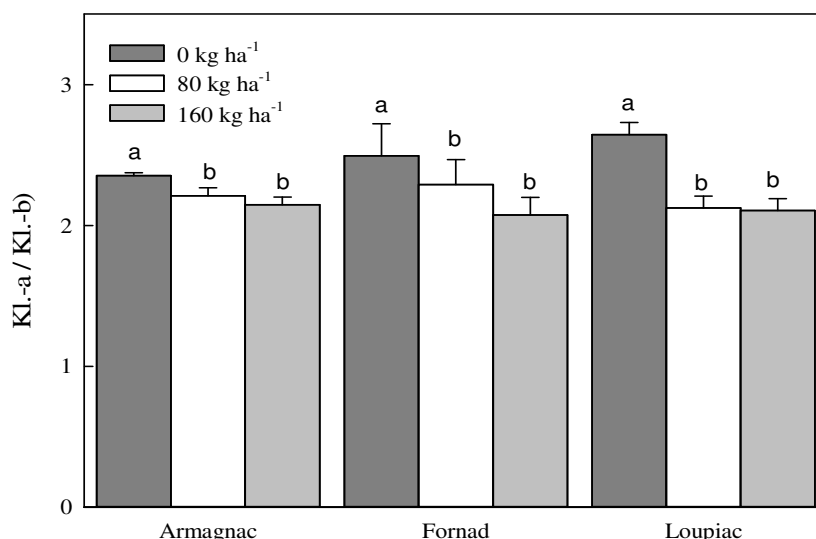
#### A 2020. év eredményei

A kísérlet harmadik évében az Fo érték szignifikánsan magasabb volt  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adag mellett, mint a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N (7,05%) vagy  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N (9,54%) adagok mellett. A csökkenés mértéke a Loupiacnál volt a legjelentősebb. A SPAD értékre szignifikáns hatással voltak önmagukban a N szintek, ugyanis szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adag mellett, mint a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N (11,6%) vagy  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N (12%) adagoknál (39. ábra). A Loupiacnál külön is kimutatható volt a N kezelés hatása, ekkor a 160 és  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintek között 18,8% míg a 80 és  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagok között 18,2% eltérés indukálódott. A klorofil-a, klorofil-b, teljes klorofil és teljes karotinoid tartalomnál is szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N szintnél, mint a 80 és  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagoknál. A genotípusok között nem volt szignifikáns eltérés.



**39. ábra** A nővirágzás (R1) során tapasztalt klorofill-a ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) klorofill-b ( $\text{mg ml}^{-1}$ ), teljes karotinoid tartalom ( $\text{mg ml}^{-1}$ ) valamint relatív klorofilltartalom (SPAD) értékének változása a N ( $0 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $80 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $160 \text{ kg ha}^{-1}$ ) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2020-ban.  $n=4$ ,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: a,b ( $P \leq 0,05$ )

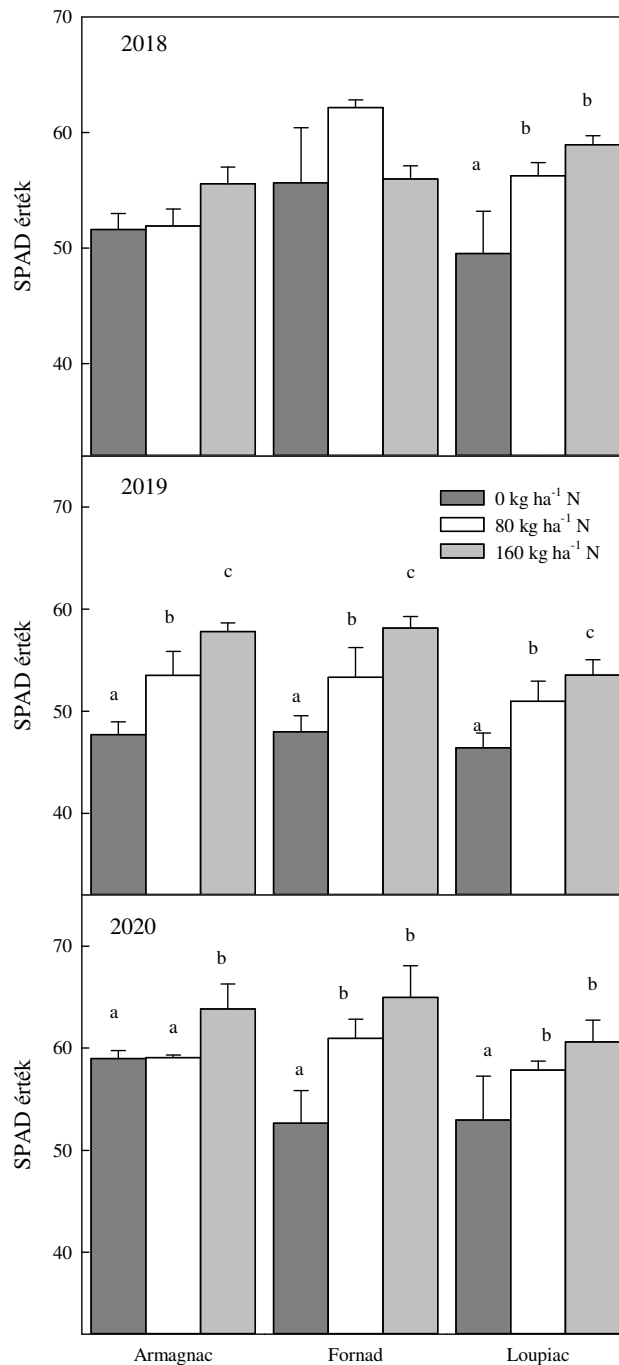
A klorofill-a/klorofill-b arányt vizsgálva a 2020. évi tenyészidőszakban is kimutatható volt, hogy a  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagnál ( $2,50 \pm 0,08$ ) szignifikánsan magasabb volt a paraméter értéke, mint a  $80$  ( $2,21 \pm 0,07$ ) és a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N ( $2,11 \pm 0,05$ ) adagoknál (40. ábra). Az SLA értéke is szignifikánsan magasabb volt ( $14,4\%$ )  $0 \text{ kg ha}^{-1}$  N adag mellett, mint  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagnál.



**40. ábra** A nővirágzás során mért klorofill-a/klorofill-b (Kl.-a/Kl.-b) arány értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) 2020-ban. n=4,  $\pm$ s.e., különbségek a N szintek között: a,b (P $\leq$ 0,05)

#### 5.4.4. Szemtelítődés kezdete (R2) állapot

A negyedik mérési időpontban, mindhárom tenyészidőszakban csupán a relatív klorofilltartalom paramétere került felvételezésre. 2018-ban a 160 kg ha<sup>-1</sup> N (56,8 $\pm$ 0,76) és a 80 kg ha<sup>-1</sup> N (56,8 $\pm$ 1,4) esetén is szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N (52,3 $\pm$ 2,02) szinten. 2019-ben a 160 kg ha<sup>-1</sup> N (56,5 $\pm$ 0,89) szignifikánsan magasabb SPAD értéket eredményezett, mint a 80 kg ha<sup>-1</sup> N (52,6 $\pm$ 1,33) és 0 kg ha<sup>-1</sup> N (47,4 $\pm$ 0,78) adag. Továbbá a közepes N adagnál is szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a legalacsonyabbnál. 2020-ban a 160 kg ha<sup>-1</sup> N (63,1 $\pm$ 1,46) és a 80 kg ha<sup>-1</sup> N (59,3 $\pm$ 0,74) esetén is szignifikánsan magasabb értéket mértünk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N (54,9 $\pm$ 1,85) szinten. A genotípusok között, nem volt kimutatható statisztikailag is jelentős eltérés (41. ábra).



**41. ábra** A szentelítőds kezdetén (R2) során tapasztalt relatív klorofill tartalom (SPAD érték) értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) 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)

#### 5.4.5. Fiziológiai érettség (R6) állapot

A fiziológiai érettség elérését követően betakarításra kerültek a parcellákon található növények, valamint néhány morfológiai paraméter meghatározására is sor került (14. táblázat). A kísérlet első évében egyik paraméterre se voltak szignifikáns hatással a

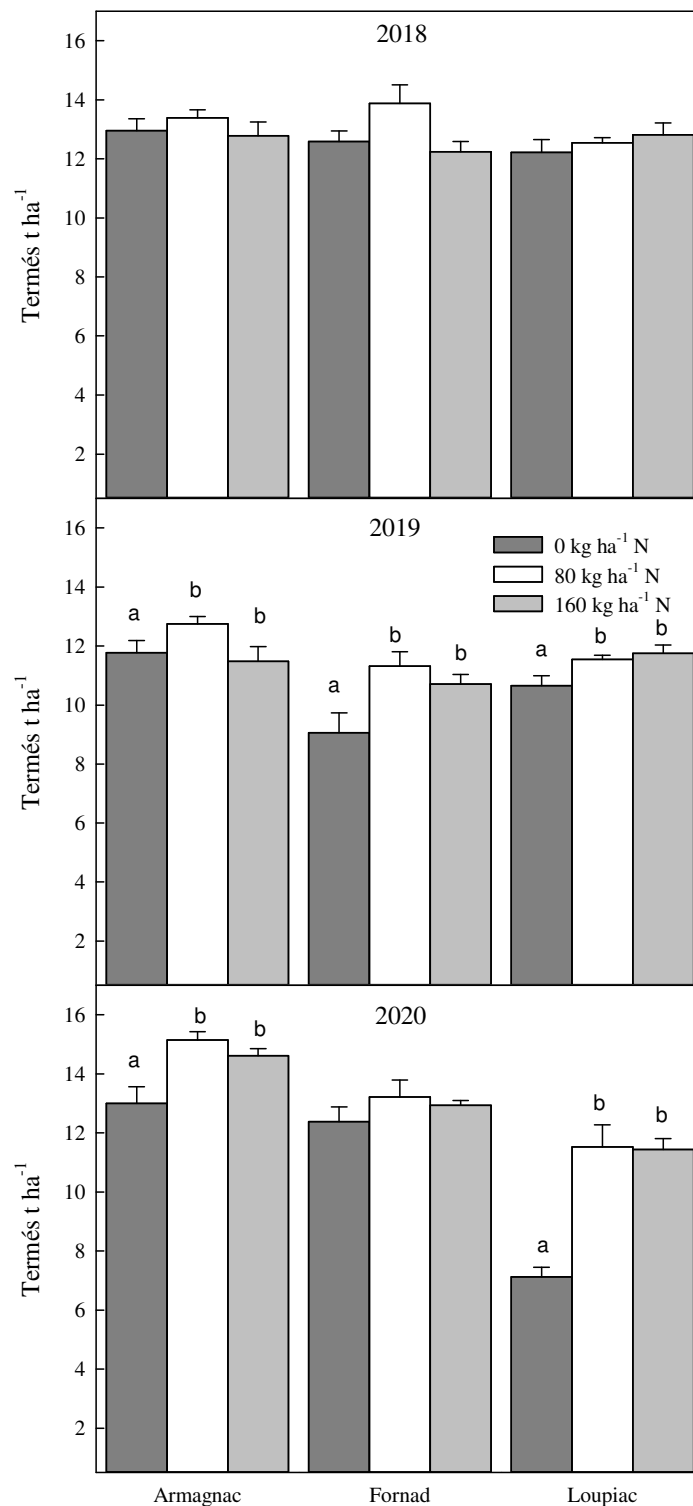
kezeléseink. Ezzel szemben mind a N, mind pedig a genotípusok szignifikáns hatással voltak a termésmennyiségre a második és harmadik vizsgált tenyészidőszakban. A kísérlet utolsó évében a termésnél szignifikáns interakcióval talákoztunk a N és a genotípus hatása között. A csövenkénti szemtömegnél a N kezelések hatása volt kimutatható a második és harmadik kísérleti évben, míg a morfológiai paraméterek közül csak a gyökérnyaknál mért szárátmérőre volt hatással a N kezelés 2019-ben.

**14 táblázat** A fiziológiai érettség elérését követően (R6) mért paraméterek esetén tapasztalt szignifikancia értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) kezelések hatására genotípusonként (Armagnac, Fornad, Loupiac) a kísérlet 3 évében (2018, 2019, 2020) n=4, ±s.e., különbségek a N szintek között: P<0,05\*, P<0,01\*\*, P<0,001\*\*\*, P≥0,05 n.s.

Paraméter	2018			2019			2020		
	N	Gen.	N x Gen.	N	Gen.	N x Gen.	N	Gen.	N x Gen.
termés	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	n.s.	***	***	**
csuhé levél tömeg	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
szár tömeg	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
levél tömeg	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
szár átmérő (gyökérnél)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
szár átmérő (csó alatt)	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
csövenkénti szemtömeg	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.

A 2018. évi tenyészidőszakban meglepő módon nem voltak statisztikailag szignifikáns hatással sem a N kezelések, sem pedig a genotípusok a termés mennyiségére. Az eredmények szerint a legmagasabb termés mennyiséget a 80 kg ha<sup>-1</sup> N adaggal kezelt területen értük el (13,3 t ha<sup>-1</sup>±0,27), míg a legalacsonyabbat a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál (12,6 t ha<sup>-1</sup>±0,23) találtuk. A genotípusra vetítve, a legnagyobb termést az Armagnac hibridnél takarítottuk be (13,1 t ha<sup>-1</sup>±0,22).

2019-ben a terméseredmények a várható módon alakultak. 80 kg ha<sup>-1</sup> N (11,9 t ha<sup>-1</sup>±0,26) és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adag (11,3 t ha<sup>-1</sup>±0,24) esetén szignifikánsan magasabb termést tapasztaltunk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál (10,5 t ha<sup>-1</sup>±0,42). Azonban a 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagok hatása között nem volt kimutatható statisztikailag igazolható eltérés. Továbbá tendenciáját tekintve a 80 kg ha<sup>-1</sup>-os adag magasabb termést is eredményezett.



**42. ábra** A termés mennyiség (t ha<sup>-1</sup>) értékének változása a N (0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup>) 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)

A genotípusok közül az Armagnac (12 t ha<sup>-1</sup>±0,27) és a Loupiac (11,3 t ha<sup>-1</sup>±11,32) esetén is magasabb éretket mértünk, mint a Fornadnál (10,4 t ha<sup>-1</sup>±0,39). A csövenkénti

szemtömegnél 80 kg ha<sup>-1</sup> N és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagoknál, szignifikánsan magasabb termést tapasztaltunk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál, de a két magasabb adag között nem volt kimutatható igazolható eltérés (42. ábra). 2020-ban is 80 kg ha<sup>-1</sup> N (13,3 t ha<sup>-1</sup> ±0,54) és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adag (13 t ha<sup>-1</sup> ±0,41) esetén szignifikánsan magasabb termést tapasztaltunk, mint a 0 kg ha<sup>-1</sup> N adagnál (10,8 t ha<sup>-1</sup> ±0,83). Ekkor sem volt, a 80 kg ha<sup>-1</sup> N és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagok hatása között kimutatható, statisztikailag igazolható eltérés, továbbá tendenciáját tekintve a 80 kg ha<sup>-1</sup> os adag magasabb termést is eredményezett. A genotípusok közül az Armagnacnál (14,3 t ha<sup>-1</sup> ± 0,34) és a Loupiacnál (10 t ha<sup>-1</sup> ± 0,68) is magasabb termés értéket mértünk, mint a Fornadnál (12,9 t ha<sup>-1</sup> ±0,26) valamint ekkor a Fornad és a Loupiac termése közötti eltérés is szignifikánsnak bizonyult. Továbbá ekkor statisztikailag szignifikáns interakciót találtunk a genotípus és a N hatása között, ugyanis a N kezelés hatása csak a kezelések átlagában, valamint az Armagnac és Loupiac hibrideknél volt kimutatható, míg a Fornadnál nem. A csövenkénti szemtermés mennyisége ekkor is követte a termés mennyiség tendenciáját. A 80 kg ha<sup>-1</sup> és 0 kg ha<sup>-1</sup> N között 25,1%, továbbá a 160 és 0 kg ha<sup>-1</sup> N között 24,8% eltérést indukáltak a N kezelések. A két magasabb N adag között nem volt kimutatható statisztikailag igazolható eltérés.

## 6. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A kutatásaink során célunk volt olyan genotípusok azonosítása, melyek hatékony N hasznosítással jellemezhetők, továbbá alacsonyabb N szint mellett is sikeresen termesztethetők. Több paraméter alapján az adott genotípust annál inkább toleránsnak tekintettük a N hiánnyal szemben, minél közelebb volt az optimális és a csökkentett N adag mellett tapasztalt érték az adott paraméteren belül. A vizsgálatok során kontrollált körülmények között, korai fejlődési stádiumban 22 db eltérő genotípust vizsgáltunk, melyek közül néhányat kiválasztottunk a kapott eredmények alapján, és tovább vizsgáltunk több éves szántóföldi kísérletben.

A kísérlet eredményei alapján a hajtás szárazanyag tömeg értéke átlagosan 30,5%-kal csökkent a N megvonás hatására, ahogy az várható volt. Ezzel szemben csökkentett N adag mellett, a gyökér szárazanyag tömeg értéke több genotípusnál is növekedett, vagy nem változott (Armagnac, DK440, Neffel, P9074, P9537, Occitan), mely egyértelműen a tápanyaghiányhoz való alkalmazkodó képesség egyik jele lehet. Ezzel megegyező eredményeket tapasztalt LI és munkatársai (2016) is munkája során. LIU és munkatársai (2009) szerint a jó N hasznosítással jellemezhető hibridek hatékony N felvétele elsődlegesen a kiterjedt gyökérrendszerüknek valamint a N hiányos környezetben fellépő erősebb gyökérnövekedésnek köszönhető. A hajtás-gyökér arány érték átlagosan 17,8%-kal az optimális N szint mellett volt magasabb, de ekkor is adódtak eltérések a genotípusok között, 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 a csökkentett N szintek között tapasztalható értékek között. Amikor nem volt jelentős eltérés a N szintek között, akkor N hiánnyal szembeni toleranciára következtethetünk, mint például az Armagnac, NK Columbia vagy P0216 hibrideknél. Az SLA értékénél is növekvő tendenciát tapasztaltunk az alacsonyabb N szinten, azonban statisztikailag is igazolható eltérést ( $P=0,046$ ) csak Renfornál tudtunk kimutatni. AMANULLAH és munkatársai (2007) szerint a N megvonás nincs hatással az SLA értékére. A SPAD értékben, ahogy az várható volt, a N kezelések átlagában szignifikáns ( $P<0,001$ ) csökkenést eredményezett az alacsonyabb N szint, a vizsgált idősebb és fiatalabb levélnél is. COSTA és munkatársai (2001) is szoros pozitív korrelációt talált a N szintek és a SPAD érték között. Genotípusonként vizsgálva a N kezelés hatása, már nem volt egyértelműen kimutatható. Az idősebb levélen erősebben (8,7%) jelentkeztek a N megvonás jelei,

mint a fiatalabb levélen (6,7%) a relatív klorofill tartalom értékei szerint. Ezt egyértelműen alátámasztotta a fotoszintetikus pigmentek részletesebb vizsgálata is. Az össz-klorofill mennyiségeket egyértelműen csökkentette a N megvonás az idősebb levélnél (42,8%), ezzel szemben a fiatalabb levélnél nem volt kimutatható szignifikáns hatás. A genotípusok közötti eltérés, az idősebb és a fiatalabb levélnél is kimutatható volt a klorofilloknál ( $P < 0,001$ ). A karotinoidok mennyisége jelentősen magasabb volt csökkentett N adag mellett (46%). Ez valószínűleg, védelmi reakciónak tekinthető, mivel a karotinoidok a fotoszintézisben betöltött fényenergia begyűjtő szerepük mellett, védelmi funkcióval is bírnak, mely a fellépő stressz esetén előtérbe kerülhet. A klorofill-a/klorofill-b arány értéke növekedett a N megvonás hatására az idősebb (0,4%) és fiatalabb (6,4%) levélnél is. A fiatalabb levélnél ez statisztikailag is bizonyítható volt, míg az idősebb levélnél ezt statisztikailag nem tudtuk igazolni. A klorofill-a/klorofill-b arány növekedését N hiányos környezetben már több kutató is kimutatta (TÓTH et al., 2002; WU et al., 2019). A klorofill-a és klorofill-b mennyiségének csökkenése valamint az ezzel párhuzamosan történő klorofill-a/klorofill-b arány növekedése arra következtetésre ad okot, hogy a klorofill-b mennyisége nagyobb mértékben csökkent a N megvonás hatására, mint a klorofill-a.

Több kutató is megfigyelte, hogy a klorofill fluoreszcencia paramétereinek értékeit csökkentette a N megvonás (LU és ZHANG, 2000; LONGCHAMPS és KOSHLA, 2014; JIN et al., 2015; WU et al., 2019). A N megvonása a kezelések átlagát figyelembe véve, a mi kontrollált kísérletünkben is csökkenést eredményezett a klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereiben, az idősebb levélen is (az  $F_0$  esetén 15,3%, az  $F_m$ -nál 27,4%, az  $F_v$ -nál 27,4%, az  $F_v/F_m$ -nél 21,8%, az  $F_v/F_0$ -nál 25,2%, míg az  $F_m/F_0$ -nál 18,4% eltérést). A fiatalabb levélnél ez nem volt statisztikailag igazolható. A N kezelésekre adott reakcióban eltértek a vizsgált hibridek egymástól, mivel több hibridnél nem tapasztaltunk jelentős mértékű eltérést a N szintek között. Az ilyen hibridek kevésbé voltak érzékenyek a N hiányra így valószínűleg hatékonyabban hasznosítják a rendelkezésre álló N formákat. DING és munkatársai (2005) eredményei is igazolják, hogy a különböző hibrideknél eltérő mértékben csökkent a vizsgált paraméterek értéke N hiány mellett. A hajtás ( $4,52\% \pm 0,07$ ) és a gyökér ( $3,41\% \pm 0,06$ ) N tartalma jelentősen magasabb volt optimális N adag mellett, viszont a C tartalom csökkentett N szinten volt magasabb. Ebből kifolyólag a C/N arány is emelkedett a N megvonás hatására a hajtásnál (81,6%) és a gyökérnél is (83,8%). GAO és munkatársai (2014) is ezt tapasztalta kutatása során. E kísérlet egyik fő eredményét jelentette, hogy

egy-egy paraméter alapján nem lehetséges egy adott genotípus N hasznosítási hatékonyságát minősíteni, a tulajdonság plaszticitása miatt. Ebből kifolyólag cluster analízis segítségével, a genotípusokat N hiányra érzékeny és hatékony N hasznosítással jellemezhető csoportokba soroltuk. Az analízis során a csoportosítás alapját a felvételezett összes paraméter, optimális és csökkentett N adag mellett tapasztalt értékeinek különbsége adta, százalékban kifejezve. 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 MV Illango. Az Armagnac és P9903 hibrideknél, a gyökér száraz tömege csökkentett N adag mellett szignifikánsan magasabb volt (5,8%), mint optimális N szinten. A hajtás gyökér arány szignifikánsan magasabb volt optimális N adag a mellett, továbbá a N kezelés hatása külön-külön a két genotípusnál is igazolható volt. A két kezelés közötti különbség az Armagnacnál 13,7%, míg a P9903 esetében 33,1% volt, mindkét esetben az optimális N adag javára ami, az előbbi hibrid jó tápanyagreakcióját jelezte. A hajtás N tartalma mindkét hibridnél átlagosan 1,2%-kal magasabb volt optimális N adag mellett, azonban optimális N szinten az Armagnacnál volt magasabb a hajtás N tartalma ( $4,6\% \pm 0,12$ ), mint a P9903-nál ( $3,9\% \pm 0,22$ ), ami az Armagnac kiváló N hasznosítását bizonyítja.

A szabadföldi kísérlet során, a legkorábbi mérési időpontban (V7) eltérő eredményeket tapasztaltunk a vizsgált évjáratokban. Az első évben (2018) a V7-ben végzett méréskor a  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  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  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N adaghoz képest szignifikánsan magasabb értéket tapasztaltunk a 0 (31,3%) és a  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  (22,4%) adagok mellett. A 2019 évben csak az SLA ( $P=0,011$ ) és Fo ( $P=0,012$ ) értékben volt kimutatható eltérés a kezelések hatására, azonban csak a genotípusok között találtunk eltérést. A kísérlet utolsó évében a vetést megelőző kedvezőtlen időjárás fokozta a N hiány erősségét, ebből kifolyólag ekkor a N hiány erősebben fejtette ki hatását, így a legkedvezőbb értékeket a  $80$  és  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N adagok mellett tapasztaltuk, azonban a két N szint között már nem volt kimutatható eltérés. Eszerint a szárazanyag tömegnél a legmagasabb és a legalacsonyabb N szint között 47,1% míg a közepes és a legalacsonyabb között 36,9% eltérést tapasztaltunk. A genotípusok közötti különbséget leginkább a fotoszintetikus pigmenteknél tapasztaltuk. Ekkor az Armagnac kevésbé

reagált érzékenyen a N megvonásra. 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> hatására a 160 kg ha<sup>-1</sup> N adaghoz képest. KITAJIMA és HOGAN (2003) eredményei szerint is növekedett az arány értéke, N hiány mellett. A szabadföldi eredményeink teljes mértékben alátámasztják azt a laboratóriumi körülmények esetén is tapasztalt jelenséget, hogy külön-külön csökkent a klorofill-a és -b értéke is, viszont a két anyag egymáshoz viszonyított aránya növekedett. Ebből kifolyólag a klorofill-b tartalom ekkor is érzékenyebben reagált a N megvonásra. SWEENEY és MARTIN (1958) kimutatta, hogy a klorofill-a kékes-zöld míg a klorofill-b inkább sárgás-zöld színű vegyület, egymástól spektrofotometriásan megkülönböztethető. A klorofill fluoreszcencia indukció módszer paramétereire leginkább az első kísérleti évben voltak jelentős hatással a N szintek. Ekkor is igazolódott, hogy a 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N hatása között nem volt kimutatható eltérés. A klorofill fluoreszcencia indukció módszer segítségével mérhető paraméterek irodalmi adatok alapján alkalmasnak bizonyultak a növényi stressz detektálására (SIMKÓ et al. 2020). Az általunk alkalmazott faktorok ez alapján még nem jelentettek oly mértékű stresszt a növényekben, hogy az egyértelműen kimutatható legyen a klorofill fluoreszcencia indukció módszerrel. A genotípusok közötti eltérés kisebb mértékű volt, egyértelműen értelmezhető összefüggést nem találtunk a genotípusok hatékonyságát tekintve, amennyiben mégis volt különbség, akkor általában a Fornad hibridnél tapasztaltunk jelentősen alacsonyabb értékeket. Az ETR, Fv/Fm, Fv/Fo, Fm/Fo paraméterek alapján a Loupiac hibrid érzékenyebben reagált mivel mindegyik említett paraméterben szignifikánsan alacsonyabb értéket mértünk az említett hibrid 0 kg ha<sup>-1</sup> N szintjén. Azonban tekintve, hogy a laboratóriumi kísérletek eredményeként a vizsgált három hibrid egy csoportba, a N hiányra kevésbé érzékeny genotípusok közé tartozott, előre jelezhető volt, hogy kisebb mértékű eltérés

fog adódni közöttük. GHEYSARI és munkatársai (2009) eredményei szerint a nitrogén megvonása növelte a növények nitrogénhasznosítási hatékonyságát. A növénymorfológiai paraméterekre kisebb hatást gyakoroltak a N szintek és a genotípusok. E hatások nem voltak egyértelműen értelmezhetők. Ezzel szemben a gyakorlatban is használt, területegységre eső szemtermés mennyisége érdekes értékeket eredményezett. 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<sup>-1</sup> N adag mellett mértük (13,3 t ha<sup>-1</sup>±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, és a két év átlagában 17,9% termés növekményt eredményezett. Az említett évjáratokban a 160 kg ha<sup>-1</sup> adag átlaga is szignifikánsan meghaladta (13,7%-kal) a legalacsonyabb szintet a két utóbbi vizsgálati év átlagában. A 80 kg ha<sup>-1</sup> és a 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagok között, azonban már nem lehetett statisztikailag igazolható eltérést kimutatni, sőt a közepes N adag mellett tendenciáját tekintve magasabb termést mértünk, mint a legmagasabb N adagnál.

A genotípusok közötti eltérések nem adtak lehetőséget egyértelmű következtetések levonására a terméseredményeket tekintve. A kísérlet egyik legfontosabb következtetése, hogy a vizsgált növények, az adott körülmények között, már 80 kg ha<sup>-1</sup> N hatóanyag kijuttatása mellett elérték azt a termés szintet, amelyet a duplájára emelt N hatóanyag szint már nem befolyásolt számottevően. A genotípusok közel azonos módon reagáltak a N kezelésekre, így ez alátámasztja a laboratóriumban végzett kísérlet eredményeit. Környezetvédelmi szempontból a szintetikus műtrágyákkal kijuttatott NO<sub>3</sub><sup>-</sup> molekulák igen mozgékonyak a talajban, míg az NH<sub>4</sub><sup>+</sup> gyorsan alakul át NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-á, ebből kifolyólag mind a két hatóanyag hatása az adott évre szól, így fontos a N adag pontos meghatározása. SMIKA és munkatársai (1977) már korábban rámutattak, hogy akár 60 kg ha<sup>-1</sup> nitrát veszteség is kialakulhat a műtrágyázás mértékétől és az alkalmazott öntözéstől függően. SCHRÖDER et al (1998) szerint a N műtrágya adagok redukálásával csökkenthető a talaj káros N terhelése. A többlet N kijuttatása a környezetvédelmi problémákon túl, gazdasági szempontból is kockázatos, ugyanis az egyre inkább szélsőséges időjárási viszonyok miatt egyre több tényezők múlik a termésbiztonság. A termelés gazdaságosságát szem előtt tartva, minden olyan tevékenység kerülendő, ami kockáztatja annak sikerességét. A kukorica N műtrágya igényét több tényező is befolyásolja, mint például a talaj adottságok, alkalmazott

agrotechnika, vagy az elővetemény. Egy-egy tényező optimális mivolta akár hektáronkénti 20-30 kg mennyiséggel is csökkentheti a kijuttatandó N hatóanyag mennyiségét. BOCZ et al (1996) már a közel 26 évvel ezelőtti könyvében is említi, hogy bizonyos újabb nemesítésű kukorica genotípusok hatékonyabban tudják hasznosítani a rendelkezésre álló tápanyagokat. Több kutató eredményei is bizonyítják, hogy a korábbi nemesítésű hibridek érzékenyebbek a N hiányra, mint az újabbak. (MCCULLOUGH et al., 1994; DING et al., 2005.). Ebből kifolyólag a genotípus egyéni igényét is figyelembe kell venni a műtrágya adag számításánál, melyet kutatásunk eredményei is alátámasztanak. Ebből kifolyólag sem gazdasági, sem pedig környezetvédelmi szempontból nem indokolt az említett 80 kg ha<sup>-1</sup> N szintnél jelentősen nagyobb adagok kijuttatása az általunk vizsgált kukorica hibrideknél, mivel e hibridek N hasznosítási hatékonysága igen kedvező. Ez többször is ütközik korábbi tanulmányokkal, ahol a kukorica N igényét magasabb szintre helyezik (MOOSAVI, 2012, HAMMAD et al., 2020, ALOTAIBI, 2018.). Figyelembe kell vennünk azonban, hogy ezek a kísérletek más termőhelyen, más körülmények között és eltérő genetikai adottságú genotípusokkal zajlottak, ami miatt, nehezen összehasonlítható a mi kísérletünkkel a korábban említett N műtrágya adagot befolyásoló tényezők miatt. Amennyiben az említett ajánlásokat figyelembe véve többlet nyereségünk adódik, célszerű lenne ezt olyan agronómiai beavatkozások megvalósításába fektetni, melyekkel hosszútávon növelhetjük a termésbiztonságot, mint például talajremediáció vagy hatékonyabb, modernebb talajművelő eszközök használata.

A csökkentett mennyiségben jelenlévő N, jobb N hasznosítású genotípus esetében befolyással lehet más tápelemek felvételére. Kutatásaink során a számos esszenciális tápelem közül a cink ellátottságot vizsgáltuk, mivel a kukorica élettani folyamatai szempontjából kiemelt elem, valamint talajaink cink hiánya valós tényezővé válik már hazánkban is. 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, valamint optimális N ellátás mellett az említett ötszörös Zn adagnál mért érték szignifikánsan magasabb volt a többi Zn szinthez képest ( $P \leq 0,001$ ), mely élénk tápanyag-reakciónak tekinthető. 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. KUTMAN és munkatársai (2010) eredményei azt

mutatták, hogy a nitrogén és a cink trágyázás szinergikus hatással van a durumbúza cinktartalmára. KUTMAN és munkatársai 2011 szerint a magasabb N adag növelte a Zn felvételét, amit a mi eredményeink is alátámasztanak. A hajtás Zn tartalma, 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. A fotoszintetikus pigmentek közül a relatív klorofill tartalomnál (SPAD érték) a P9903-nál átlagosan ( $36,1 \pm 0,64$ ) 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 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. A klorofill fluoreszcencia indukció módszer több paraméterénél is jelentős összefüggést találtunk a genotípus és a N kezelés hatásában. Az idősebb levélnél a genotípusok között és a Zn kezelések között nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést. Az Fm-nél a két N szint közötti különbség  $32,38\%$  míg az Fv-nél  $36\%$  volt. Az utolsó kifejtett levélen mért Fv/Fm érték optimális N szint mellett, a P9903-nál ( $0,79 \pm 0,004$ ) szignifikánsan magasabb értékeket találtunk, mint az Armagnacnál ( $0,77 \pm 0,003$ ). A P9903 ekkor is stresszérzékenyebbnek bizonyult, ami alátámasztja a N hasznosítási vizsgálataink eredményeit. Az Fm/Fo-nál optimális N adag mellett szignifikáns eltérés volt kimutatható a P9903 ( $4,74 \pm 0,08$ ) és az Armagnac ( $4,35 \pm 0,06$ ) között, míg ez az eltérés nem volt szignifikáns csökkentett N adag mellett. A kísérletek során általános tapasztalat, hogy az alkalmazott Zn kezelések kevésbé voltak jelentős hatással a növényélettani paraméterekre. Bizonyos esetekben kimutatható volt a Zn kezelések hatása, azonban ez nem volt egyértelmű. Az elemtartalom vizsgálatok hatása azonban alátámasztotta, hogy ha rendelkezésre áll a nagyobb Zn adag, akkor azt képes felvenni a növény. 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. Továbbá az elemtartalom vizsgálatok azt is alátámasztották, hogy az

optimális N ellátottságnál javult a Zn felvétele is, továbbá a genotípusok között is volt eltérés.

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 se, 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. Továbbá csökkentett N szint mellett szignifikánsan magasabb értéket mértünk az Armagnacnál ( $14,9 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,33$ ) mint a P9903-nál ( $13,5 \text{ mg ml}^{-1} \pm 0,43$ ). A P9903 hibridnél szignifikánsan csökkent (16,5%) a paraméter értéke a N megvonás hatására, valamint az alacsonyabb N szint mellett szignifikáns eltérést (16%) tapasztaltunk a két genotípus között az Armagnac javára. A tapasztalt eredmények oka, hogy a kísérlet második évében már érzékelhető volt a vetésváltás elhagyása, továbbá ekkor a vetést megelőző időszakban száraz időjárási viszonyok uralkodtak, melyet a BGI is jelzett. Ezáltal a növények érzékenyebbé váltak az egyéb stresszhatásokra is. Ekkor szignifikáns interakciót fedeztünk fel a genotípus és a N kezelés hatásában is, ugyanis a P9903-nál volt jelentősebb hatással a N megvonás, valamint N hiányos környezetben az Armagnac-nál mért értékek kedvezőbbek voltak.

A kukorica címerhányása és nővirágzása az egyik legkritikusabb szakasz a későbbi termésképzés és a növény fejlődése szempontjából. A VT szakaszban végzett vizsgálatoknál 2019-ben csak a SPAD értéknél tudtuk a genotípusok közötti szignifikáns hatásokat kimutatni mivel a P9903 hibridnél, 4,44%-kal magasabb értéket mértünk, mint az Armagnacnál ( $56,3 \pm 0,85$ ). A VT szakaszban, leginkább a genotípusok közötti különbség érvényesült, mivel 2020-ban is fenn állt az említett különbség, általában a P9903 érzékenyebbnek bizonyult a N hiányra, mint az Armagnac. A 2019. évi R1 fázisban a genotípus hatása is jelentős volt több klorofill fluoreszcencia indukció paraméterre, mint például az Fm-nél 10,9% míg az Fv-nél 11,8%-kal, valamint az Fo-nál 7,83%-kal volt alacsonyabb az Armagnac értéke a P9903-hoz képest. Továbbá az Fv-nél 5,57%-al magasabb értéket tapasztaltunk optimális N adag mellett, mint a csökkentettnél. A Yield és a qP értéke is több mint 8%-kal volt magasabb csökkentett N

ellátás mellett. A 2020. évjáratban az abszolút (6,38%) és relatív klorofill tartalom is csökkent az alacsonyabb N szint hatására, azonban ez az érték nem volt statisztikailag szignifikáns, ellenben a csökkenés nagyobb mértékű volt a P9903-nál, illetve a genotípus hatása szignifikáns volt ( $P=0,023$ ). Klorofill-a ( $P=0,033$ ) és -b ( $P=0,38$ ) mennyisége is szignifikánsan csökkent a N megvonás hatására, viszont a klorofill-a/klorofill-b arány növekedése (8,45%) ekkor is arra a következtetésre ad okot, hogy a klorofill-b mennyisége nagyobb mértékben csökkent. A kísérlet első évében jelentősen magasabb ( $2,5 \text{ t ha}^{-1}$ ) termést mértünk optimális N adag mellett átlagosan, ahogy az várható volt. Szignifikáns termés különbséget a második évben már nem tapasztaltuk sem a N szintek, sem a genotípusok, sem pedig a Zn kezelések között. A kísérlet alapján megállapítható, hogy a genotípusok között eltérés mutatható ki, mely alátámasztja a korábbi kísérletek során felállított paraméter rendszer alkalmasságát. 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.

## 7. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

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<sup>-1</sup> 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<sup>-1</sup> N adagokhoz képest 11,9%, és 8,13% terméskiesés indukálódott. Ellenben 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adag hatása között nem volt kimutatható szignifikáns eltérés. Ezért megállapítható, hogy a vizsgált hibridek 12 t ha<sup>-1</sup> termés mennyiség eléréséhez az említett körülmények között 80 kg ha<sup>-1</sup> 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.

## 8. GYAKORLATBAN ALKALMAZHATÓ EREDMÉNYEK

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 bizonyultak 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. A kísérletünk során alkalmazott  $4 \text{ l ha}^{-1}$  adagban alkalmazott 3% hatóanyag tartalmú  $\text{ZnSO}_4$  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. Az általunk vizsgált genotípusoknál már nem találtunk statisztikailag igazolható eltérést a vizsgált  $80 \text{ kg ha}^{-1}$  és  $160 \text{ kg ha}^{-1}$  N hatóanyag adag között, a termés mennyiség tekintetében. Az adott, kiemelkedő N hasznosítási hatékonysággal rendelkező kukorica genotípusok, jó kultúrállapotú talajon történő termesztése során nem indokolt  $80\text{-}100 \text{ kg ha}^{-1}$  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.

## 9. ÖSSZEFOGLALÁS

A növényi tápanyagellátás a napjainkban alkalmazott agronómiai beavatkozások egyik legkritikusabb pontja. A N tartalmú műtrágyák kijuttatása meghatározó eleme a tápanyag gazdálkodásunknak, azonban okszerűtlenül alkalmazva jelentős ökonómiai és ökológiai kockázatot is hordoz magában ez az eljárás. A N és Zn több növényfiziológiai folyamatban is részt vesz, azonban a növényen belüli hasznosulásuk jelentős mértékben függ az adott növény genetikai adottságaitól, a környezeti faktoroktól, vagy éppen az egymáshoz viszonyított arányuktól. A kutatásunk során célul tűztük ki több, eltérő kukorica (*Zea mays* L.) genotípus N és Zn hasznosítási hatékonyságának vizsgálatát, illetve a kísérleti kezeléseink hatását, a növényfiziológiai folyamatokra. További célunk volt olyan paraméterek azonosítása, melyek segítségével azonosíthatjuk a növényi stresszhatásokat, még azok szemmel látható tüneteinek megjelenése előtt. Vizsgálatainkat kontrollált és szabadföldi kísérletekben végeztük el több N és Zn adag alkalmazásával. A kísérletek első szakaszába 22 darab genotípust vontunk be, melyekből a kapott eredmények alapján kiválasztottuk az Armagnac, Fornad, Loupiac és P9903 genotípusokat, melyeket további kontrollált és szabadföldi kísérletekben vizsgáltunk.

A laboratóriumi kísérletünkből jól használható paraméterek segítségével megfelelően tudtuk jellemezni a vizsgált genotípusokat N hasznosítási szempontból. A statisztikai elemzéshez használt Cluster analízis alapján az érzékeny csoportba soroltuk a Neffel, P9537, P9415, DK 440, P9074, DKC 4590, P9903, Occitan, NK Columbia, MV Olek, P0023 hibrideket. Míg a hatékony N hasznosítással jellemezhető csoportba került a Sushi, P0216, DKC 4490, NK Thermo, MV Margitta, Loupiac, Fornad, Renfor, MV Danietta, Armagnac és MV Illango. A csoportosítás alapját képező vizsgálatok eredményeit alátámasztották a további kísérleteink, mivel a különböző csoportba sorolt genotípusok eltérő módon reagáltak a kezeléseinkre, a paraméterek többségének tekintetében. A Zn adagolása nem befolyásolta a N felvételét, ellenben optimális N adag mellett több Zn felvételére voltak képesek a vizsgált növények. Optimális N szinten a hajtás és a gyökér összes cinktartalma 40,8 mg-mal magasabb volt, mint a csökkentett N szinten. Az optimálishoz képest eltérő Zn adagok, valamint az eltérő Zn adagolási módok jelentős növényélettani hatást nem váltottak ki, azonban az elemtartalom vizsgálat azt mutatta, hogy a növények képesek voltak még az ötszörösére emelt Zn adagot is felvenni, így az később termésminőség javító hatással bírhat. A szabadföldi

kísérletek egyik helyszínén a P9903 általánosságban véve érzékenyebben reagált az alacsonyabb N adagra, mint az Armagnac. Ellenben a másik helyszínen az Armagnac, Fornad és Loupiac hibridek reakciója nem volt egyértelműen eltérő a N hiányra való érzékenység tekintetében. Ekkor a 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N adagokhoz képest 11,9%, és 8,13% termés kiesés alakult ki a 0 kg ha<sup>-1</sup> adagokhoz képest. A N műtrágyázás elhagyása szignifikáns csökkenést eredményezett a legtöbb vizsgált paraméterben, ezért a N kijuttatás teljese mértékű elhagyása nem indokolt. Azonban az általunk vizsgált genotípusoknál már nem találtunk statisztikailag igazolható különbséget a 80 és 160 kg ha<sup>-1</sup> N hatóanyag hatása között a termés mennyiség tekintetében. A kísérleteink eredményei alapján egyértelműen látszott, hogy alacsonyabb N szint mellett kevesebb klorofill-a és klorofill-b molekula volt megtalálható a mintákban. Ezzel párhuzamosan a klorofill-a/klorofill-b arány növekedett az alacsonyabb N szint hatására, ami arra a következtetésre ad okot, hogy a klorofill-b érzékenyebben reagált a N megvonásra, mint a klorofill-a. A klorofill-a és -b molekulák precíziós technológiák használatával történő megkülönböztetése, hasznos információt szolgáltat a növények N utánpótlásának tervezésében és gyakorlatában is.

Eredményeinket összefoglalva egyértelműen alátámasztottuk a genotípus, mint tényező jelentőségét a növénytermesztési rendszerekben. A kedvező N hasznosítással rendelkező kukorica genotípusok a jövőben fontos szerepet tölthetnek be az intenzív és extenzív szántóföldi növénytermesztésben is. Vizsgálataink alapvetési 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.

## 10. SUMMARY

Nutrient supply is one of the most critical points in agronomic interventions nowadays. Application of N fertilizers is a key element of nutrient management, but this process also involves significant economic and ecological risks. N and Zn are take a part in several plant physiological processes, but their utilization in a crop depends significantly on the genetic characteristics of plant species, subspecies, environmental factors or their relative proportions to each other. In our research, we aimed to investigate the N and Zn utilization efficiency of several different maize (*Zea mays* L.) genotypes, and the effect of our treatments on plant physiological processes. Our further goal was to identify parameters that can be used to identify plant stress, before their visible symptoms are appeared. Our experimetns were performed with fully regulated and field conditions using multiple levels of N and Zn. At the first phase of our experiments, 22 genotypes were investigated. From them we selected Armagnac, Fornad, Loupiac and P9903 genotypes, which were examined in further controlled and field experiments.

We were able to properly characterize the examined genotypes in terms of N utilization with the parameters from laboratory experiment. Based on the Cluster analysis, Neffel, P9537, P9415, DK 440, P9074, DKC 4590, P9903, Occitan, NK Columbia, MV Olek, P0023 hybrids were classified as sensitive. While Sushi, P0216, DKC 4490, NK Thermo, MV Margitta, Loupiac, Fornad, Renfor, MV Danietta, Armagnac and MV Illango were included in efficient N utilization group. These results were supported by our further experiments, because genotypes from different groups were responded differently to our treatments. Application of Zn did not affect the uptake of N, however, at optimal N level plants were able to absorb more Zn. At optimal N level, the total zinc content of the shoot and root was 40.8 mg higher than at the reduced N level. Zn levels differed from optimal level, as well as different Zn applicaton methods did not cause significant physiological effects, however Zn content analysis showed that plants were able to absorb even a fivefold Zn dose, so it may have a positive effect on grain yield quality. At one site, P9903 was generally more sensitive to lower N doses than Armagnac. In contrast, at the other site, the response of the Armagnac, Fornad, and Loupiac hybrids was not clearly different in terms of sensitivity to N deficiency. At this time for the effect of 0 kg ha<sup>-1</sup> 11.9% and 8.13% yield loss was occured compared to the 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> N levels. The omission of N fertilization

resulted in a significant decrease in most of the studied parameters, therefore the complete omission of N application is not recommended. However, statistically significant difference between the effect of 80 and 160 kg ha<sup>-1</sup> N in terms of grain yield was not found in case of examined genotypes. Based on the results it was clear that fewer chlorophyll-a and chlorophyll-b molecules were present in the samples from lower N levels. In parallel, the chlorophyll-a / chlorophyll-b ratio increased with N deprivation, suggesting that chlorophyll-b was more sensitive to N deprivation than chlorophyll-a. Distinguishing chlorophyll-a and -b molecules using precision technologies may also provide useful information in planning and practice of N supply during crop management.

Summarizing our results, we clearly supported the importance of genotype as a factor in crop production systems. Maize genotypes with favorable N utilization may play an important role in intensive and extensive field crop production in the future. Our research provides fundamental research results for applied researches as well as for plant breeders, and also considered demands of climate change and global food problems on crop production. We have identified *in vivo* and *in situ* parameters that can be used as a direct and indirect tool for precision crop production.

## 11. RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ANOVA	Variancia analízis
BGI	Gaussen-Bagnouls xerothermikus index
Cu	Réz
ETR	Fotoszintetikus elektron transzport ráta
Fm	Maximális fluoreszcencia sötétadaptált levélen
Fm'	Maximális fluoreszcencia fényadaptált levélen
Fo	Alap fluoreszcencia sötétben
Ft	Alap fluoreszcencia megvilágítás mellett
Fv	Változó fluoreszcencia
Fv/Fm	A PSII potenciális fotokémiai hatékonysága
K	Kálium
N	Nitrogén
N <sub>2</sub>	Elemi nitrogén
P	Foszfor
PSI	Egyes fotokémiai rendszer
PSII	Kettes fotokémiai rendszer
qN	Nem fotokémiai kioltás
qP	Fotokémia kioltás
R1	Nőiivarú virágzás állapotában lévő kukorica növény
R2	Szemtelítődés kezdetén lévő kukorica növény
R6	Fiziológiai érettséget elért kukorica növény
SLA	Specifikus levélterület érték
SPAD	Relatív klorofill tartalom
S	Kén
V7	7 leveles állapotú kukorica növény
VT	Címerhányás állapotában lévő kukorica növény
YIELD	Aktuális fotokémiai aktivitás
Zn	Cink

## 12. IRODALOMJEGYZÉK

- Adiloglu, S.:* 2006. The effect of increasing nitrogen and zinc doses on the iron, copper and manganese contents of maize plant in calcareous and zinc deficient soils. *Asian Journal of Plant Sciences*. 5. 3: 504-507.
- Agrama, H. A. S. – Zakaria, A. G. – Said, F. B. – Tuinstra, M.:* 1999. Identification of quantitative trait loci for nitrogen use efficiency in maize. *Molecular Breeding* 5: 2: 187-195.
- Alam, S. M. – Shereen, A.* 2002.: Effect of different levels of zinc and phosphorus on growth and chlorophyll content of wheat. *Asian Journal of Plant Sciences* 1. 4: 364-366.
- Ali, G. – Srivastava, P. S. – Iqbal., M.:* 2000. Influence of cadmium and zinc on growth and photosynthesis of *Bacopa monniera* cultivated in vitro. *Biologia Plantarum*. 43. 4: 599-601.
- Alloway, B.J.:* 2004. Zinc in Soils and Crop Nutrition. International Zinc Association, Brüsszel.
- Alotaibi, K. D. – Cambouris, A. N. – St. Luce, M. – Ziadi, N – Tremblay, N.:* 2018. Economic optimum nitrogen fertilizer rate and residual soil nitrate as influenced by soil texture in corn production. *Agronomy Journal*. 110: 2233-2242.
- Amanullah, M. – Hassan, J. – Nawab, K. – Ali, A.:* 2007. Response of specific leaf area (SLA), leaf area index (LAI) and leaf area ratio (LAR) of maize (*Zea mays* L.) to plant density, rate and timing of nitrogen application. *World Applied Science Journal* 2: 235-243.
- Asif, M. – Saleem, M. F. – Anjum, S. A. – Wahid, M. A.– Bilal, M. F.:* 2013. Effect of nitrogen and zinc sulphate on growth and yield of maize (*Zea mays* L.). *Journal of Agricultural Research*. 51. 4: 455-464.
- Attia, A. – Shapiro, C. – Kranz, W. – Mamo, M. – Mainz, M.* 2015.: Improved yield and nitrogen use efficiency of corn following soybean in irrigated sandy loams soil. *Science Society American Journal*. 79: 1693-1703.
- Bagci, S. A. – Ekiz, H. – Yilmaz, A. – Cakmak, I.:* 2007. Effects of zinc deficiency and drought on grain yield of field-grown wheat cultivars in central anatolia. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 193: 198-206.
- Bagnouls, F. – Gaussen, H.:* 1953. Les climats biologiques et leur classification. *Annales De Geographie*. 355: 193-220.

- Bahadur, L. – Malhi, C. S. – Singh, Z.:* 1998. Effect of foliar and soil applications of zinc sulphate on zinc uptake, tree size, yield, and fruit quality of mango. *Journal of Plant Nutrition*. 21. 3: 589-600.
- Bailey, S. – Thompson, E. – Nixon, P. J. – Horton, P. – Mullineaux, C. W. – Robinson, C. – Mann, N. H.:* 2002. A critical role for the Var2 FtsH homologue of *Arabidopsis thaliana* in the photosystem II repair cycle in vivo. *Journal of biological chemistry*. 277:2006-2011
- Balko, L. G. – Russell, W. A.:* 1980. Effects of rates of nitrogen fertilizer on maize inbred lines and hybrid progeny. I. Prediction of yield response. *Maydica*. 25: 65-79.
- Bänzinger, M. – Long, J.:* 2000. The potential for increasing the iron and zinc density of maize through plant-breeding. *Food and Nutrition Bulletin*. 21.4: 397-400.
- Barbieri, P. A. – Echeverría, H. E. – Saíñz Rozas, H. R. – Andrade, F. H.:* 2008. Nitrogen use efficiency in maize as affected by nitrogen availability and row spacing. *Agronomy Journal* 100. 1094-1100.
- Beauchamp, E. G. – Kannenberg, L. W. – Hunter, R. B.:* 1976. Nitrogen accumulation and translocation in corn genotypes following silking. *Agronomy Journal* 68: 418-422.
- Berg, J. M. – Shi, Y.:* 1996. The galvanization of biology: a growing appreciation for the roles of zinc. *Science* 271:1081-1085.
- Bertin, P. – Gallais, A.:* 2000. Genetic variation for nitrogen use efficiency in a set of recombinant maize inbred lines. I. Agrophysiological results. *Maydica*. 45(1). 53-66.
- Binder, D. L. – Sander, D. H. – Walters, D. T.:* 2000. Maize response to time of nitrogen application as affected by level of nitrogen deficiency contribution of the nebraska. *Agronomy Journal*. 92:1228-1236.
- Blackmer, T. M. – Schepers, J. S. – Varvel, G. E. – Walter-Shea, E. A.:* 1996. Nitrogen deficiency detection using reflected shortwave radiation from irrigated corn canopies. *Agronomy Journal*. 88: 1-5.
- Bloom, A. J.:* 2015. The increasing importance of distinguishing among plant nitrogen sources *Current Opinion in Plant Biology*. 17. 10-16.
- Bocz, E. – Kováts, A – Nagy, J. – Sárvári, M.:* 1996. Tápanyagellátás In: Kukorica [In: Bocz, E (szerk.) Szántóföldi növénytermesztés.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 389-394.

- Bojović, B. – Marković, A.:* 2009. Correlation between nitrogen and chlorophyll content in wheat (*Triticum aestivum* L.) Kragujevac Journal of Science. 31: 69-74.
- Bojtárné Lukácsik, M. – Gáborné Boldog, V. – Petőné Varga, É. – Vágó, Sz.:* 2009. A magyar mezőgazdaság fontosabb inputjainak piaci helyzete. Budapest, Agrárgazdasági Kutató Intézet. p 9-10.
- Bonnet, M. – Camares, O. – Veisseire, P.:* 2000. Effect of zinc and influence of *Acremonium lolii* on growth parameters, chlorophyll a fluorescence and antioxidant enzyme activities of ryegrass (*Lolium perenne* L. cv Apollo). Journal of Experimental Botany. 51. 346: 945-953.
- Bouwman, L. – Goldewijk, K. K – Van Der Hoek, K. W. – Beusen, A. H. W. – Van Vuuren, D. P. – Willems, J. – Rufino, M. C. – Stehfest, E.:* 2013. Exploring global changes in nitrogen and phosphorus cycles in agriculture induced by livestock production over the 1900–2050 period. Proceedings of the National Academy of Sciences, 110. 52: 20882-20887.
- Broadley, M. R. – White, P. J. – Hammond, J. P. – Zelko I. – Lux, A.:* 2007. Zinc in plants. New Phytologist. 173: 677-702.
- Burns, I.G. – Zhang, K. – Turner, M. K. – Edmondson, R.:* 2011. Iso-osmotic regulation of nitrate accumulation in lettuce. Journal of Plant Nutrition. 34: 283-313.
- Cakmak, I. – Ekiz, H. – Yilmaz, A. – Torun, B. – Köleli, I. – Gültekin, I. – Alkan, A. – Eker, S.:* 1997b. Differential response of rye, triticale, bread and durum wheats to zinc deficiency in calcareous soils. Plant and Soil 188: 1-10.
- Cakmak, I. – Öztürk, L. – Eker, S. – Torun, B. – Kalfa, H. I. – Yilmaz, A.:* 1997a. Concentration of zinc and activity of copper/zinc-superoxide dismutase in leaves of rye and wheat cultivars differing in sensitivity to zinc deficiency. Journal of Plant Physiology 151. 1: 91-95.
- Cakmak, I. – Yilmaz, A. – Kalayci, M. – Ekiz, H. – Torun, B.:* 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. Plant and Soil. 180. 2: 165-172.
- Cakmak, I.:* 2000. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. New Phytologist. 146: 185-205.
- Chaney, R. L. – Filcheva, E. – Green, C. E. – Brown, S. L.:* 2006. Zn deficiency promotes cd accumulation by lettuce from biosolids amended soils with high cd:zn ratio. Journal of Residuals Science & Technology. 3. 2: 68-75.

- Chevalier, P. – Schrader, L. E.:* 1976. Genotypic differences in nitrate absorption and partitioning of N among plants in maize. *Crop Science*. 17: 897-901.
- Ciampitti, I. A. – Murrell, S. T. – Camberato, J. J. – Tuinstra, M. – Xia, Y. – Friedemann, P. – Vyn, T. J.:* 2013. Physiological dynamics of maize nitrogen uptake and partitioning in response to plant density and nitrogen stress factors: II. reproductive phase. *Crop Science*. 53: 2588-2602.
- Ciampi, S. Gentili, E. – Guidi, L. – Soldatini, G. F.:* 1996. The effect of nitrogen deficiency on leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence parameters in sunflower. *Plant Science*. 118. 2: 177-184.
- Cliquet J. B. – Deleens, E. – Mariotti, A.:* 1990. C and N mobilization from stalk and leaves during kernel filling by <sup>13</sup>C and <sup>15</sup>N tracing in *Zea mays* L. *Plant Physiology*. 94: 1547-1553.
- Costa, C. – Dwyer, L. M. – Dutilleul, P. – Stewart, D. W. – Ma, B .L. – Smith, D. L.:* 2001. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 24: 1173-1194.
- Crawford, N. M. – Glass, A. D. M.:* 1998. Molecular and physiological aspects of nitrate uptake in plants. *Trends in Plant Science*. 3: 389-395.
- Cui, Z. – Zhang, F. – Chen, X. – Dou, Z. – Li, J.:* 2010. In-season nitrogen management strategy for winter wheat: Maximizing yields, minimizing environmental impact in an over-fertilization context. *Field Crops Research*. 116. 1-2: 140-146.
- Csajbók, J. – Kutasy, E. – Borbély, É. H. – Futó, Z. – Jakab, P.:* 2005. Effects of nutrient supply on the photosynthesis of maize hybrids. *Cereal Research Communications*. 33: 169-172.
- de Iorio, A. F. – Gorgoschide, L. – Rendina, A. – Barros, M. J.:* 1996. Effect of phosphorus, copper, and zinc addition on the phosphorus/copper and phosphorus/zinc interaction in lettuce, *Journal of Plant Nutrition*, 19.3-4: 481-491.
- Deckmyn G. – Impens I.:* 1997. Combined effects of enhanced UV-B radiation and nitrogen deficiency on the growth, composition and photosynthesis of rye (*Secale cereale*). *UV-B and Biosphere*. 17: 235-240
- Demeterio, J. L. – Ellis, R. – Paulsen, G. M.:* 1972. Nodulation and nitrogen fixation by two soybean varieties as affected by phosphorus and zinc nutrition. *Agronomy Journal*. 64: 566-568.

- Demotes-Mainard, S. – Jeuffroy, M. H.:* 2001. Partitioning of dry matter and nitrogen to the spike throughout the spike growth period in wheat crops subjected to nitrogen deficiency. *Field Crops Research*. 70. 2: 153-165.
- Ding, L. – Wang, K. J. – Jiang, G. M. – Biswas, D. K. – Xu, H. – Li, L. F. – Li, Y. H.:* 2005. Effects of nitrogen deficiency on photosynthetic traits of maize hybrids released in different years. *Annals of Botany*. 96. 5: 925-930.
- Disante, K. B. – Fuentes, D. – Cortina, J.:* 2010. Response to drought of Zn-stressed *Quercus suber* L. Seedlings. *Environmental and Experimental Botany*. 70: 96-103.
- Ehret, D. L. – Frey, B. – Forge, T. – Helmer, T. – Bryla, D. R. – Zebarth, B. J.:* 2014. Effects of nitrogen rate and application method on early production and fruit quality in highbush blueberry. *Canadian Journal of Plant Science*. 94: 1165-1179.
- El Hallof, N. – Sárvári, M.:* 2005. Relationship between fertilization, leaf area index, photosynthetic activity and yield of hybrids. *Cereal Research Communications*. 33. 1: 181-184.
- Erenoglu, B. – Eker, S. – Cakmak, I. – Derici, R. – Römheld, V.:* 2000. Effect of iron and zinc deficiency on release of phytosiderophores in barley cultivars differing in zinc efficiency. *Journal of Plant Nutrition*. 23. 11-12: 1645-1656.
- Evenson, R. E. – Gollin, D.:* 2003. Assessing the impact of the green revolution, 1960 to 2000. *Science*. 300. 758-762.
- FAO 2017: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/RFN>
- Fernández-Escobar, R. – Beltrán, G. – Sánchez-Zamora, M. A. – García-Novelo, J. – Aguilera, M. P. – Uceda, M.:* 2006. Olive oil quality decreases with nitrogen over-fertilization. *HortScience*. 41: 215-219.
- Filep, Gy.:* 1999. Talajtani alapismeretek (Általános Talajtan). Debreceni Center-Print Nyomda. Debrecen
- Foyer, C. H. – Valadier, M. H. – Migge, A. – Becker, T. W.:* 1998. Drought-induced effects on nitrate reductase activity and mrna and on the coordination of nitrogen and carbon metabolism in maize leaves. *Plant Physiology*. 117. 1: 283-292.
- Frederickson C. J. – Bush, A. I.:* 2001. Synaptically released zinc: physiologic functions and pathological effects. *Biometals*. 14: 353-66.
- Fu, C. – Li, M. – Zhang, Y. – Zhang, Y. – Yan, Y. – Wang, Y.:* 2015. Morphology, photosynthesis, and internal structure alterations in field apple leaves under hidden and acute zinc deficiency. *Scientia Horticulturae*. 193: 47-54.

- Futó, Z. – Jakab, P.:* 2005. The effect of nutrient supply on the yield and quality of maize hybrids. Scientific Bulletin Series C: Fascicle Mechanics, Tribology, Machine Manufacturing Technology, 19: 1-6.
- Gallais, A. – Coque, M.:* 2005. Genetic variation and selection for nitrogen use efficiency in maize: A synthesis. *Maydica* 50. 531-547.
- Gallais, A. – Hirel, B.:* 2004. An approach to the genetics of nitrogen use efficiency in maize. *Journal of Experimental Botany*. 55. 396: 295-306.
- Gao, K. – Chen, F. – Yuan, L. – Zhang, F. – Mi, G.:* 2015. Maize root morphology under low nitrogen stress. *Plant, Cell and Environment*. 38: 740-750.
- Gao, X. – Zou, C. – Zhang, F. – van der Zee, S. E. A. T. M. – Hoffland, E.:* 2005. Tolerance to zinc deficiency in rice correlates with zinc uptake and translocation *Plant Soil* 278: 253-261.
- 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.
- Genc, Y. – Huang, C. Y. – Langridge, P.:* 2007. A study of the role of root morphological traits in growth of barley in zinc-deficient soil. *Journal of Experimental Botany*. 58. 11: 2775-2784.
- Gent, M. P. N.:* 2012. Composition of hydroponic lettuce: effect of time of day, plant size, and season. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 92: 542-550.
- Gheysari, M. – Mirlatifi, S. M. – Homae, M. – Asadi, M. E. – Hoogenboom, G.:* 2009. Nitrate leaching in a silage maize field under different irrigation and nitrogen fertilizer rates. *Agricultural Water Management*. 96: 946-954.
- Graham, R. D.:* 1984. Breeding for nutritional characteristics in cereals. . In P.B. Tinker and A. Lauchli (ed.) *Advances in plant nutrition*. Vol. 1. Praeger, New York. 57-102.
- Gregersen, P. L. – Holm, P. B.:* 2007. Transcriptome analysis of senescence in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Biotechnology Journal*. 5: 192-206.
- Grewal, H. S. – Graham, R. D. – Stangoulis, J.:* 1998. Zinc-boron interaction effects in oilseed rape. *Journal of Plant Nutrition*. 21. 10: 2231-2243.
- Guidi, L. – Lorefice, G. – Pardossi, A. – Malorgio, F. – Tognoni, F. – Soldatini, G. F.:* 1997. Growth and photosynthesis of *Lycopersicon esculentum* (L.) plants as affected by nitrogen deficiency. *Biologia Plantarum* 40: 235.

- Guo, J. – Liu, X. – Zhang, Y. – Shen, J. – Han, W. – Zhang, W. – Zhang, F.:* 2010. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*. 327: 1008-1010.
- Halse, N.J. – Greenwood, E. A. N. – Lapins, P. – Boundy, C. A. P.:* 1969. An analysis of the effects of nitrogen deficiency on the growth and yield of a Western Australian wheat crop. *Australian Journal of Agricultural Research*. 20: 987-998.
- Hambidge K.M. – Casey C. E. – Krebs, N. F.:* 1986. Zinc. In: Mertz W, editor. Trace elements in human and animal nutrition , 5th ed. New York: Academic Press. 1-37.
- Hammad, H. M. – Abbas, F. – Ahmad, A. – Bakhat, H. F. – Farhad, W. – Wilkerson, C. J. – Fahad, S. – Hoogenboom G.:* 2020. Predicting kernel growth of maize under controlled water and nitrogen applications. *International Journal of Plant Production*. 14: 609-620.
- Hänsch, R. – Mendel R. R.:* 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl), *Current Opinion in Plant Biology*. 12: 259–266.
- Hansen, M. – Friis, C. – Bowra, S. – Holm, P. B. – Vincze, E.:* 2009. A pathway-specific microarray analysis highlights the complex and co-ordinated transcriptional networks of the developing grain of field-grown barley. *Journal of Experimental Botany*. 60: 153-167.
- Hanway, J. J.:* 1963. Growth stages of corn. *Agronomy Journal*. 55: 487-492.
- Harris, D. – Rashid, A. – Miraj, G. – Arif, M. – Shah, H.:* 2007. ‘On-farm’ seed priming with zinc sulphate solution—A cost-effective way to increase the maize yields of resource-poor farmers. *Field Crops Research*. 102. 2: 119-127.
- Hawkesford, M. J.:* 2014. Reducing the reliance on nitrogen fertilizer for wheat production. *Journal of Cereal Science*. 59. 276-283.
- Howarth, J. R. – Parmar, S. – Jones, J. – Shepherd, C. E. – Corol, D. I. – Galster, A. M. – Verrier, P. J.:* 2008. Co-ordinated expression of amino acid metabolism in response to N and S deficiency during wheat grain filling. *Journal of Experimental Botany*. 59: 3675-3689.
- Huang, L. – Hu, D. – Bell, R. W.:* 1995. Diagnosis of zinc deficiency in canola by plant analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 26. 17-18: 3005-3022.
- Huang, Z. A. – Jiang, D. A. – Yang, Y. – Sun, J. W. – Jin, S. H.:* 2004. Effects of nitrogen deficiency on gas exchange, chlorophyll fluorescence, and antioxidant enzymes in leaves of rice plants. *Photosynthetica*. 42. 3: 357-364.

- Hussain, S. – Maqsood, M. A.: 2010. Increasing grain zinc and yield of wheat for the developing world: A Review. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 22. 5: 326-339.
- Ismail, A. M. – Azooz, M. M.: 2005. Effect of zinc supply on growth and some metabolic characteristics of safflower and sunflower plants. *Indian Journal of Plant Physiology*. 10. 3: 260-266.
- Jakab, P. – Futó, Z. – Csajbók, J.: 2005. Analyze of photosynthesis and productivity of maize hybrids in different fertilizer treatments. *Cereal Research Communications*, 331: 205-207.
- Jin, X. – Yang, G. – Tan, C. – Zhao, C.: 2015. Effects of nitrogen stress on the photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and sugar-nitrogen ratio in corn. *Scientific Reports* 5: 9311
- Jolánkai, M. – Birkás, M.: 2005. Carbon sequestration of crops influenced by nitrogen fertilization. *Proceedings. 43rd Croatian and 3rd International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia* 540-543
- Jolánkai, M. – Birkás, M.: 2007. Global climate change impacts on crop production in Hungary. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 72: 17-20.
- Jones, D. L. – Kielland, K.: 2012. Amino acid, peptide and protein mineralization dynamics in a taiga forest soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 55: 70-78.
- Kabata-Pendias, A. – Pendias, H.: 2001. Trace elements in soils and plants, CRC Press, Boca Raton - London - New York - Washington D.C.
- Kamara, A. Y. – Kling, J. G. – Menkir, A. – Ibikunle, O.: 2003. Association of vertical root-pulling resistance with root lodging and grain yield in selected s1 maize lines derived from a tropical low-nitrogen population. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 189: 129-135.
- Kanwal, S. – Rahmatullah, A. M. R. – Ahmad, R.: 2010. Zinc partitioning in maize grain after soil fertilization with zinc sulfate. *Journal of Agriculture Biology*. 12: 299-302.
- Kasim, W.A.: 2007. Physiological consequences of structural and ultra-structural changes induced by Zn stress in *Phaseolus vulgaris*. I. Growth and Photosynthetic apparatus. *International Journal of Botany*. 3. 1:15-22.
- Kaya, C. – Higgs, D.: 2002. Response of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) cultivars to foliar application of zinc when grown in sand culture at low zinc. *Scientia Horticulturae*. 93. 1: 53-64.

- Kenbaev, B. – Sade, B.:* 2002. Response of field-grown barley cultivars grown on zinc-deficient soil to zinc application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 33. 3-4: 533-544.
- Kessler, B.:* 1961. Ribonucleases as a guide for the determination of zinc deficiency in orchard trees. In: W Reuther (Ed.). pp. 314-322. *Plant analysis and fertilizer problems*. Am. Inst. Biol. Sci. Washington, USA.
- Khurana, N. – Chatterjee, C.:* 2001. Influence of variable zinc on yield, oil content, and physiology of sunflower. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 32. 19-20: 3023-3030.
- Kitajima, K. – Hogan, K. P.:* 2003. Increases of chlorophyll a/b ratios during acclimation of tropical woody seedlings to nitrogen limitation and high light. *Plant, Cell & Environment*, 26: 857-865.
- Krapp, A.:* 2015. Plant nitrogen assimilation and its regulation: a complex puzzle with missing pieces. *Current Opinion in Plant Biology*. 25. 115-122.
- KSH 2017: [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_eves/i\\_tal001b.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_tal001b.html)
- Kutman, U. B. – Yildiz, B. – Cakmak, I.:* 2011. Effect of nitrogen on uptake, remobilization and partitioning of zinc and iron throughout the development of durum wheat. *Plant Soil*. 342: 149-164.
- Kutman, U. B. – Yildiz, B. – Ozturk, L. – Cakmak, I.:* 2010. Biofortification of durum wheat with zinc through soil and foliar applications of nitrogen. *Cereal Chemistry*. 87: 1-9.
- Li, C. – Wang, P. – Lombi, E. – Wu, J. – Blamey, F. P. C. – Fernández, V. – Howard, D. L. – Menzies, N. W. – Kopittke, P. M.:* 2018. Absorption of foliar applied Zn is decreased in Zn deficient sunflower (*Helianthus annuus*) due to changes in leaf properties. *Plant and Soil* 433: 309-322.
- Li, P. – Zhuang, Z. – Cai, H. – Cheng, S. – Soomro, A. A. – Liu, Z. – Gu, R. – Mi, G. – Yuan, L. – Chen, F.:* 2016. Use of genotype-environment interactions to elucidate the pattern of maize root plasticity to nitrogen deficiency. *Journal of Integrative Plant Biology*. 58: 242-253.
- Liang, B. L. – Mackenzie, A. F.:* 1994. Corn yield nitrogen uptake and nitrogen use efficiency as influenced by nitrogen fertilization. *Canadian Journal of Soil Science*. 74: 235-240.

- Lin, Y. L. – Chao, Y. Y. – Huang, W. D. – Kao, C. H.: 2011. Effect of nitrogen deficiency on antioxidant status and Cd toxicity in rice seedlings. *Plant Growth Regulation*. 64. 3: 263-273.
- Liu, J. – Chen, F. – Olokhnuud, C. – Glass, A. D. M. – Tong, Y. – Zhang, F. – Mi, G.: 2009. Root size and nitrogen-uptake activity in two maize (*Zea mays*) inbred lines differing in nitrogen-use efficiency. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* 172. 230-236.
- Liu, Z. – Zhu, K. – Dong, S. – Liu, P. – Zhao, B. – Zhang, J.: 2017. Effects of integrated agronomic practices management on root growth and development of summer maize. *European Journal of Agronomy*. 84: 140-151.
- Longchamps, L. – Khosla, R.: 2014. Early detection of nitrogen variability in maize using fluorescence. *Agronomy Journal*. 106: 511-518.
- López-Millán, A. F. – Ellis, D. R. – Grusak, M. A.: 2005. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and raz mutant plants. *Plant Science*. 168: 1015-1022.
- Losak, T. – Hlusek, J. – Martinec, J. – Jandak, J. – Szostkova, M. – Filipcik, R. – Manasek, J. – Prokes, K. – Peterka, J. – Varga, L. – Ducsay, L. – Orosz, F. – Martensson, A.: 2011. Nitrogen fertilization does not affect micronutrient uptake in grain maize (*Zea mays* L.). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science*. 61.6: 543-550.
- Lu, C. – Zhang, J.: 2000. Photosynthetic CO<sub>2</sub> assimilation, chlorophyll fluorescence and photoinhibition as affected by nitrogen deficiency in maize plants. *Plant Science*. 151. 2: 135-143.
- MacDonald, R. S.: 2000. The role of zinc in growth and cell proliferation. *The Journal of Nutrition*. 130. 5: 1500-1508.
- Martin, A. – Lee, J. – Kichey, T. – Gerentes, D. – Zivy, M. – Tatout, C. – Dubois, F. – Balliau, T. – Valot, B. – Davanture, M. – Tercé-Laforgue, T. – Quilleré, I. – Coque, M. – Gallais, A. – Gonzalez-Moro, M. – Bethencourt, L. – Habash, D. Z. – Lea, P. J. – Charcosset, A. – Perez, P. – Murigneux, A. – Sakakibara, H. – Edwards, K. J. – Hirel, B.: 2006. Two cytosolic glutamine synthetase isoforms of maize are specifically involved in the control of grain production. *The Plant Cell*. 18: 3252-3274.

- Marwat, K. B. – Arif, M. – Khan, M. A.:* 2007. Effect of tillage and zinc application methods on weeds and yield of maize. *Pakistan Journal of Botany*. 39. 5: 1583-1591.
- Masclaux-Daubresse, C. – Daniel-Vedele, F. – Dechorgnat, J. – Chardon, F. – Gaufichon, L. – Suzuki, A.:* 2010. Nitrogen uptake, assimilation and remobilization in plants: challenges for sustainable and productive agriculture. *Annals of Botany*. 105: 1141-1157.
- Masuda, H. – Suzuki, M. – Morikawa, K.C. – Kobayashi, T. – Nakanishi, H. – Takahashi, M., Saigusa, M. – Mori, S. – Nishizawa, N. K.:* 2008. Increase in iron and zinc concentrations in rice grains via the introduction of barley genes involved in phytosiderophore synthesis. *Rice*. 1.1: 101-108.
- Masuda, H. – Usuda, K. – Kobayashi, T. – Ishimaru, Y. – Kakei, Y. – Takahashi, M. – Higuchi, K. – Nakanishi, H. – Mori, S. – Nishizawa, N. K.:* 2009. Overexpression of the barley nicotianamine synthase gene HvNAS1 increases iron and zinc concentrations in rice grains. *Rice*. 2.4: 155-166.
- McCullough, D. E. – Mihajlovic, M. – Aguilera, A. – Tollenaar, M. – Girardin, P.:* 1994. Influence of N supply on development and dry matter accumulation of an old and a new maize hybrid. *Canadian Journal of Plant Science*. 74: 471-477.
- Meena, S. K. – Mundra, S. L. – Singh, P.:* 2013. Response of maize (*Zea mays*) to nitrogen and zinc fertilization. *Indian Journal of Agronomy*. 58: 127-128
- Mei, H. – Thimann, K. V.:* 1984. The relation between nitrogen deficiency and leaf senescence. *Physiologia Plantarum*, 62: 157-161.
- Mengel, K.:* 1976. A növények ásványos táplálkozása és anyagcseréje. Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze. *Mezőgazdasági kiadó*. Budapest
- Miller, A. J. – Cramer, M. D.:* 2005. Root nitrogen acquisition and assimilation. *Root Physiology: from Gene to Function*. 4: 1-36.
- Mirzapour, M. H. – Khoshgoftar, A. H.:* 2006. Zinc application effects on yield and seed oil content of sunflower grown on a saline calcareous soil. *Journal of Plant Nutrition*. 29. 10: 1719-1727.
- Mirzapour, M. H. – Khoshgoftarmanesh, A. H.:* 2013. Effect of soil and foliar application of iron and zinc on quantitative and qualitative yield of pomegranate. *Journal of Plant Nutrition*. 36. 1: 55-66.

- Mohammadi, P. – Khoshgoftarmanesh, A. H.:* 2014. The effectiveness of synthetic zinc (Zn)-amino chelates in supplying Zn and alleviating salt-induced damages on hydroponically grown lettuce. *Scientia Horticulturae*. 172: 117-123.
- Moll, R. H. – Kamprath, E. J. – Jackson, W. A.:* 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. *Agronomy Journal*. 74. 562-564.
- Moosavi, S. G.:* 2012. The effect of water deficit stress and nitrogen fertilizer levels on morphology traits, yield and leaf area index in maize. *Pakistan Journal of Botany*. 44: 1351-1355.
- Moran, R. – Porath, D.:* 1980. Chlorophyll determination in intact tissues using *N,N*-Dimethylformamide, *Plant Physiology*. 65. 3: 478-479.
- Noulas, C. – Tziouvalekas, M. – Karyotis, T.:* 2018. Zinc in soils, water and food crops. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 49: 252-260.
- Oakes, D.:* 1991. Nitrate in water. *Nitrates and Nitrites in Food and Water*. 33-58.
- Ohki, K.:* 1978. Zinc concentration in soybean as related to growth, photosynthesis, and carbonic anhydrase activity. *Crop Science*. 18: 79-82.
- Ortiz-Monasterio, J. I. – Sayre, K. D. – Rajaram, S. – McMahon, M.:* 1997. Genetic progress in wheat yield and nitrogen use efficiency under four nitrogen rates. *Crop Science*. 37. 898-904.
- Ozkutlu, F. – Torun, B. – Cakmak, I.:* 2006. Effect of zinc humate on growth of soybean and wheat in zinc-deficient calcareous soil, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 37. 15-20: 2769-2778.
- Paponov, I. A. – Sambo, P. – Erley, G. S. – Presterl, T. – Geiger, H. H. – Engels, C.:* 2005. Grain yield and kernel weight of two maize genotypes differing in nitrogen use efficiency at various levels of nitrogen and carbohydrate availability during flowering and grain filling. *Plant Soil*. 272. 111-123.
- Parker, D. R. – Aguilera, J. J. – Thomason, D. N.:* 1992. Zinc-phosphorus interactions in two cultivars of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) grown in chelator-buffered nutrient solutions. *Plant Soil* 143: 163-177.
- Paulsen, G. M. – Rotimi, O. A.:* 1968. Phosphorus-zinc interaction in two soybean varieties differing in sensitivity to phosphorus nutrition. *Soil Science Society of America Journal*. 32: 73-76.
- Pearson, J. N. – Rengel, Z. – Jenner, C. F. – Graham, R. D.:* 1995. Transport of zinc and manganese to developing wheat grains. *Physiologia Plantarum*. 95: 449-455.

- Pepó, P. – Sipos, P. – Győri, Z.:* 2007. Effects of fertilizer application on the baking quality of winter wheat varieties in a long term experiment under continental climatic conditions in Hungary. *Cereal Research Communications*. 33. 4: 825-832.
- Pepó, P.:* 2001. Variety-Specific fertilization in wheat production. *Wheat in a Global Environment*. 639-645.
- Pikul, J. L. – Hammack, L. – Riedell, W. E.:* 2005. Corn yield, nitrogen use, and corn rootworm infestation of rotations in the northern Corn Belt. *Agronomy Journal*. 97. 854-863.
- Postma, J. A. – Dathe, A. – Lynch, J. P.:* 2014. The optimal lateral root branching density for maize depends on nitrogen and phosphorus availability. *Plant Physiology*. 166. 2: 590-602.
- Potarzycki, J. – Grzebisz, W.:* 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. *Plant Soil Environment*. 55. 12: 519-527.
- Potarzycki, J.:* 2011. Effect of magnesium or zinc supplementation at the background of nitrogen rate on nitrogen management by maize canopy cultivated in monoculture. *Plant Soil Environment*. 57: 19-25.
- Prasad, A. S. – Miale A. – Farid Z. – Sandstead H. H. – Schulert, A. R.:* 1963. Zinc metabolism in patients with the syndrome of iron deficiency anemia, hepatosplenomegaly, dwarfism and hypogonadism. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine* 61: 537-49.
- Presterl, T. – Seitz, G. – Landbeck, M. – Thiemt, E. M. – Schmidt, W. – Geiger, H. H.:* 2003. Improving nitrogen-use efficiency in european maize. *Crop Science*. 43: 1259-1265.
- Radin, J. W. – Ackerson, R. C.:* 1981. Water relations of cotton plants under nitrogen deficiency *Plant Physiology*. 67. 1: 115-119.
- Randall, P. J. – Bouma, D.:* 1973. Zinc deficiency, carbonic anhydrase, and photosynthesis in leaves of spinach. *Plant Physiology*. 52. 3: 229-232.
- Rashid, A. – Bughio, N. – Rafique, E.:* 1994. Diagnosing zinc deficiency in rapeseed and mustard by seed analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 25. 19-20: 3405-3412.
- Raun, W. R. – Johnson, G. V.:* 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*. 91. 357-363.
- Razzaq, K. – Khan, A. S. – Malik, A. U. – Shahid, M. – Ullah, S.:* 2013. Foliar application of zinc influences the leaf mineral status, vegetative and reproductive

- growth, yield and fruit quality of 'kinnow' mandarin. *Journal of Plant Nutrition*. 36.10: 1479-1495.
- Reed, A. J. – Below, F. E. – Hageman, R. H.:* 1980. Grain protein accumulation and the relationship between leaf nitrate reductase and protease activities during grain development in maize. I. Variation between genotypes. *Plant Physiology* 66: 164-170.
- Rengel, Z. – Graham, R. D.:* 1995. Importance of seed Zn content for wheat growth on Zn deficient soil. 1. Vegetative growth. *Plant and Soil*. 173: 259-266.
- Rengel, Z. – Römheld, V. – Marschner, H.:* 1998. Uptake of zinc and iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*. 152. 4-5: 433-438.
- Riquelme, A. – Wellmann, E. – Pinto, M.:* 2007. Effects of ultraviolet-B radiation on common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants grown under nitrogen deficiency. *Environmental and Experimental Botany*. 60. 3: 360-367.
- Rose, I. A. – Felton, W. L. – Banks, L. W.:* 1981. Responses of four soybean varieties to foliar zinc fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 21: 236-240.
- Rowan, F. – Sage, R. – Pearcy, W.:* 1987. The nitrogen use efficiency of c3 and c4 plants. *Plant Physiology* 84. 3: 959-963.
- Sattelmacher, B. – Horst, W. J. – Becker, H. C.:* 1994. Factors that contribute to genetic variation for nutrient efficiency of crop plants. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* 157: 215-224.
- Scharf, P. C. – Wiebold, W. J. – Lory, J. A.:* 2002. Corn yield response to nitrogen fertilizer timing and deficiency level. *Agronomy Journal*. 94: 435-441.
- Schlüter, U. – Mascher, M. – Colmsee, C. – Scholz, U. – Bräutigam, A. – Fahnenstich, H. – Sonnewald, U.:* 2012. Maize source leaf adaptation to nitrogen deficiency affects not only nitrogen and carbon metabolism but also control of phosphate homeostasis. *Plant Physiology*. 160. 3: 1384-1406.
- Schmitt, M. R. – Edwards, G. E.:* 1981. Photosynthetic capacity and nitrogen use efficiency of maize, wheat, and rice: a comparison between C3 and C4 photosynthesis. *Journal of Experimental Botany*. 32. 3: 459-466.
- Schröder, J. J. – Neeteson, J. J. – Withagen, J. C. M. – Noij, I. G. A. M.:* 1998. Effects of N application on agronomic and environmental parameters in silage maize production on sandy soils. *Field Crops Research*. 58: 55-67.

- Shafea, L. – Saffari, M.:* 2011. Effects of zinc (ZnSO<sub>4</sub>) and nitrogen on chemical composition of maize grain. *International Journal of AgriScience*. 1. 6: 323-328.
- Shaibu, A. S. – Adnan, A. A. – Jibrin, J. M.:* 2016. Stability performance of extra early maturing maize (*Zea mays* L.) varieties under high and low nitrogen environments in Sudan Savanna. *Cogent Food & Agriculture*. 2 1: 1231456.
- Shangguan, Z. – Shao, M. – Dyckmans, J.:* 2000. Effects of nitrogen nutrition and water deficit on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence in winter wheat. *Journal of Plant Physiology*. 156. 1: 46-51.
- Sharma, P. N. – Chatterjee, C. – Agarwala, S. C. – Sharma, C. P.:* 1990. Zinc deficiency and pollen fertility in maize (*Zea mays*). In: van Beusichem M.L. (szerk.) *Plant Nutrition — Physiology and Applications*. Developments in Plant and Soil Sciences, vol 41. Springer, Dordrecht
- Sharma, P. N. – Tripathi, T. T. – Bisht, S. S.:* 1995. Zinc requirement for stomatal opening in cauliflower. *Plant Physiol*. 107: 751-756.
- Shivay, Y. S. – Prasad, R. – Pal, M.:* 2013. Zinc fortification of oat grains through zinc fertilisation. *Agricultural Research*. 2. 4: 375-381.
- Shute, T. – Macfie, S. M.:* 2006. Cadmium and zinc accumulation in soybean: A threat to food safety?. *Science of The Total Environment*. 371. 1-3: 63-73.
- Siddiqui, M. H. – Oad, F. C. – Abbasi, M. K. – Gandahi, A.W.:* 2009. Zinc and boron fertility to optimize physiological parameters, nutrient uptake and seed yield of sunflower. *Sarhad Journal of Agriculture*. 25. 1: 53-57.
- Simkó, A. – Gáspár, S. – Kiss, L. – Makleit, P. – Veres, S.:* 2020. Evaluation of nitrogen nutrition in diminishing water deficiency at different growth stages of maize by chlorophyll fluorescence parameters. *Plants*. 9: 1-13.
- Sindelar, A. J. – Coulter, J. A. – Lamb, J. A. – Vetsch, J. A.:* 2015. Nitrogen, stover, and tillage management affect nitrogen use efficiency in continuous corn. *Agronomy Journal*. 107: 843-850.
- Skoog, F.:* 1940. Relationship between zinc and auxin in the growth of higher plants. *American Journal of Botany*. 27: 939-951.
- Smika, D. E. – Heerman, D. F. – Duke, H. R. – Batchelder, A. R.:* 1977. Nitrate-N percolation through irrigated sandy soil as affected by water management. *Agronomy Journal*. 69: 623-626.

- Sogbedji, J. M. – van Es, H. M. – Yang, C. L. – Geohring, L. D. – Magdoff, F. R.:* 2000. Nitrate leaching and nitrogen budget as affected by maize nitrogen rate and soil type. *Journal of Environmental Quality*. 29: 1813-1820.
- Soon, Y. – Clayton G.:* 2003. Effects of eight years of crop rotation and tillage on nitrogen availability and budget of a sandy loam soil. *Canadian Journal of Soil Science*. 83. 475-481.
- Sweeney, J. P., – Martin, M.:* 1958. Determination of chlorophyll and pheophytin in broccoli heated by various procedures. *Journal of Food Science*. 23: 635-647.
- Swietlik, D.:* 2002. Zinc nutrition of fruit trees by foliar sprays. *Acta Horticulturae*. 594: 123-129.
- Széles, A.:* 2007. The indication of nitrogen deficiency in maize growing using SPAD-502 chlorophyll meter. *Cereal Research Communications*. 35. 2: 1149-1152.
- Ta, C.T. – Weiland, R. T.:* 1992. Nitrogen partitioning in maize during ear development. *Crop Science*. 32: 443-451.
- Tóth, V. R. – Mészáros, I. – Veres, S. – Nagy, J.:* 2002. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. *Journal of Plant Physiology*, 159. 6: 627-634.
- Tsai, C. Y. – Dweikat, I. – Huber, D.M. – Warren, H. L.:* 1992. Interrelationship of nitrogen nutrition with maize (*Zea mays*) grain yield, nitrogen use efficiency and grain quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 58: 1-8.
- Tucker, M.:* 2004. Primary nutrients and plant growth, In: *Essential Plant Nutrients*, North Carolina Department of Agriculture.
- Uhart, S. A. – Andrade, F. H.:* 1995. Nitrogen deficiency in maize: II. Carbon-nitrogen interaction effects on kernel number and grain yield. *Crop Science* 35: 1384-1389.
- Umar, S. A. – Iqbal, M.:* 2007. Nitrate accumulation in plants, factors affecting the process, and human health implications. A review. *Agronomy for sustainable development*. 27: 45-57.
- Urbanczyk-Wochniak, E. – Fernie, A. R.:* 2005. Metabolic profiling reveals altered nitrogen nutrient regimes have diverse effects on the metabolism of hydroponically-grown tomato (*Solanum lycopersicum*) plants. *Journal of Experimental Botany*. 56: 309-321.
- Vaccaro, S. – Ertani, A. – Nebbioso, A. – Muscolo, A. – Quaggiotti, S. – Piccolo, A. – Nardi, S.:* 2015. Humic substances stimulate maize nitrogen assimilation and amino

- acid metabolism at physiological and molecular level. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture* 2. 5: 1-12.
- Van Herwaarden, A. F. – Farquhar, G. D. – Angus, J. F. – Richards, R. A. – Howe, G. N.:* 1998. Haying-off<sup>2</sup>, the negative grain yield response of dryland wheat to nitrogen fertilizer. I. Biomass, grain yield, and water use. *Australian Journal of Agricultural Research*. 49: 1067-1081.
- Vasconcelos, M. – Datta, K. – Oliva, N. – Khalekuzzaman, M. – Torrizo, L. – Krishnan, S. – Oliveira, M. – Goto, F. – Datta, S. K.:* 2003. Enhanced iron and zinc accumulation in transgenic rice with the ferritin gene. *Plant Science*. 164. 3: 371-378.
- Veres, Sz. – Malik, A. I. – Rengel, Z.:* 2017. Differential nitrogen supply causes large variability in photosynthetic traits in wheat germplasm. *Crop and Pasture Science*. 68. 8:703-712.
- Veres, Sz. – Simkó, A. – Kiss, L. – Zsombik, L.:* 2017. Wheat genotypes under reduced nitrogen supply: changes in chlorophyll fluorescence parameters. *Columella-Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. 4. 1: 53-58.
- Vitousek, P. M. – Naylor, R. – Crews, T. – David, M. B. – Drinkwater, L. E. – Holland, E. – Johnes, P. J. – Katzenberger, J. – Martinelli, L. A. – Matson, P. A. – Nziguheba, G. – Ojima, D. – Palm, C. A. – Robertson, G. P. – Sanchez, P. A. – Townsend, A. R. – Zhang, F. S.:* 2009. Nutrient balances in agricultural development. *Science*. 324. 1519-1520.
- Vouillot, M. O. – Devienne-Barret, F.:* 1999. Accumulation and remobilization of nitrogen in a vegetative winter wheat crop during or following nitrogen deficiency. *Annals of Botany*. 83. 5: 569-575.
- Wan, Y. – Poole, R. L. – Huttly, A. K. – Toscano-Underwood, C. – Feeney, K. – Welham, S. – Shewry, P. R. – Mitchel, R. A. C.:* 2008. Transcriptome analysis of grain development in hexaploid wheat. *BMC Genomics*. 9: 121
- Wang, H. – Gao, J. – Li, X. H. – Zhang, S. L. – Wang, H. J.:* 2015. Nitrate accumulation and leaching in surface and ground water based on simulated rainfall experiments. *PLOS ONE* 10. 8: e0136274.
- Wang, H. – Jin, J. Y.:* 2007. Effects of zinc deficiency and drought on plant growth and metabolism of reactive oxygen species in maize (*Zea mays* L). *Agricultural Sciences in China*. 6. 8: 988-995.

- Wang, H. – Jin, J. Y.: 2005. Photosynthetic rate, chlorophyll fluorescence parameters, and lipid peroxidation of maize leaves as affected by zinc deficiency. *Photosynthetica* 43: 591-596.
- Wang, H. – Liu, R. L. – Jin, J. Y.: 2009. Effects of zinc and soil moisture on photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of maize. *Biologia Plantarum*. 53: 191-194.
- Wang, J. – Mao, H. – Zhao, H. – Huang, D. – Wang, Z.: 2012. Different increases in maize and wheat grain zinc concentrations caused by soil and foliar applications of zinc in Loess Plateau, China. *Field Crops Research*. 135: 89-96.
- Wang, K. – Zheng, H. – Liu, K. – Zhang, J. – Dong, S. – Hu, C.: 2001. Evolution of maize root distribution in space-time during maize varieties replacing in China. *Acta Phytocological Sinica*. 25. 472-475.
- Wang, Y. – Mi, G. – Chen, F. – Zhang, J. – Zhang, F. 2005.: Response of root morphology to nitrate supply and its contribution to nitrogen accumulation in maize. *Journal of Plant Nutrition*. 27. 12: 2189-2202.
- Watson, C. A. – Atkinson, D. – Gosling, P. – Jackson, L. R. – Rayns F. W.: 2002. Managing soil fertility in organic farming systems. *Soil Use and Management*. 18. 1: 239-247.
- Webb, M. J. – Loneragan, J. F.: 1988. Effect of zinc deficiency on growth, phosphorus concentration, and phosphorus toxicity of wheat plants. *Soil Science Society of America Journal*. 52: 1676-1680.
- Weinbaum, S. A. – Johnson, R. S. – DeJong, T. M.: 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *HortTechnology*. 2: 112-121.
- 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.
- Weria, W. – Yousef, S. – Gholamreza, H. – Adel, S. – Kazem, G. G.: 2012. Changes in antioxidant enzymes activity and plant performance by salinity stress and zinc application in soybean ('*Glycine max*' L.). *Plant Omics*. 5. 2: 60-67.
- Wiesler, F. – Behrens, T. – Horst, W. J.: 2001. The role of nitrogen-efficient cultivars in sustainable agriculture. *The ScientificWorld Journal*. 1: 61-69.
- Wissuwa, M. – Ismail, A. M. – Graham, R. D.: 2008. Rice grain zinc concentrations as affected by genotype, native soil-zinc availability, and zinc fertilization. *Plant and Soil*. 306: 37-48.

- Wissuwa, M. – Ismail, A. M. – Yanagihara, S.:* 2006. Effects of zinc deficiency on rice growth and genetic factors contributing to tolerance. *Plant Physiology*. 142. 2: 731-741.
- Wojciechowski, T. – Gooding, M. – Ramsay, L. – Gregory, P.:* 2009. The effects of dwarfing genes on seedling root growth of wheat. *Journal of Experimental Botany*. 60. 2565-2573.
- Wolfe, D. W. – Henderson, D. W. – Hsiao, T. C. – Alvino, A.:* 1988. Interactive water and nitrogen effects on senescence of maize. I. Leaf area duration, nitrogen distribution, and yield. *Agronomy Journal*. 80: 859-864.
- Worku, M. – Bänziger, M. – Erley, G. S. A. – Friesen, D. – Diallo, A. O. – Horst, W. J.:* 2007. Nitrogen uptake and utilization in contrasting nitrogen efficient tropical maize hybrids. *Crop Science*. 47. 519-528.
- Wortmann, C. S. – Tarkalson, D. D. – Shapiro, C. A. – Dobermann, A. R. – Ferguson, R. B. – Hergert, G. W. – Walters, D.:* 2011. Nitrogen use efficiency of irrigated corn for three cropping system in Nebraska. *Agronomy Journal*. 103. 76-84.
- Wu, Y. – Li, Q. – Jin, R. – Chen, W. – Liu, X. – Kong, F. – Ke, Y. – Shi, H. – Yuan, J.:* 2019. Effect of low-nitrogen stress on photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of maize cultivars with different low-nitrogen tolerances. *Journal of Integrative Agriculture*, 18: 1246–1256.
- Yadav, V. – Singh, P. N. – Yadav, P.:* 2013. Effect of foliar fertilization of boron, zinc and iron on fruit growth and yield of low-chill peach cv. Sharbati. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 3. 8: 693-698.
- Yan, P. – Pan, J. – Zhang, W. – Shi, J. – Chen, X. – Cui, Z.:* 2017. A high plant density reduces the ability of maize to use soil nitrogen. *Plos One*, 12 (2)
- Yang, L. – Tao, H. – Wang, P.:* 2012. Effect of planting density on plant growth and root morphology of maize. *Chinese Journal of Applied Environmental Biology*. 18. 1009-1013.
- Yilmaz, A. – Ekiz, H. – Torun, B. – Gultekin, I. – Karanlik, S. – Bagci, S. A. – Cakmak, I.:* 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc-deficient calcareous soils, *Journal of Plant Nutrition*. 20. 4-5: 461-471.
- Zhang, F. – Römheld, V. – Marschner, H.:* 1989. Effect of zinc deficiency in wheat on the release of zinc and iron mobilizing root exudates. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 152. 2: 205-210.

- Zhang, F. L. – Niu, X. K. – Zhang, Y. M. – Li, S. K. – Xie, R. Z. – Liu, X. – Xiu, W. W.: 2012. Studies on the effect of density on the root-shoot relationship and yield in maize. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*. 2: 028.
- Zhao, D. – Reddy, K. R. – Kakani, V. G. – Reddy, V. R.: 2005. Nitrogen deficiency effects on plant growth, leaf photosynthesis, and hyperspectral reflectance properties of sorghum. *European Journal of Agronomy*. 22. 4: 391-403.
- Zhao, R. – Chen, X. – Zhang, F. – Zhang, H. – Schroder, J. – Römhild V.: 2006. Fertilization and nitrogen balance in a wheat–maize rotation system in north china. *Agronomy Journal*. 98: 938-945.
- Živčák, M. – Olšovská, K. – Slamka, P. – Galambošová, J. – Rataj, V. – Shao, H. B. – Kalaji, H. M. – Brestič, M.: 2014. Measurements of chlorophyll fluorescence in different leaf positions may detect nitrogen deficiency in wheat. *Zemdirbyste-Agriculture*. 101. 4: 437-444.

### **13. KÖSZÖNETNYÍLVÁNÍTÁS**

A disszertációm elkészítéséhez szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek, Prof. Dr. Veres Szilvia egyetemi tanárnak, opponenseimnek, Dr. Szabó András adjunktusnak, Dr. habil. Jakab Péter egyetemi docensnek. Köszönettel tartozom a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep valamint Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Bemutatókert és Arborétum dolgozóinak. Továbbá köszönetemet szeretném kifejezni a Növénytudományi Intézet, Alkalmazott Növénybiológiai Tanszék, valamint a Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet és a tanszék minden munkatársának és Ph.D. hallgatójának. Továbbá, köszönettel tartozom Csákyiné Faragó Erzsébetnek és Duzs Lászlónak a mindenkori segítségnyújtásáért, valamint köszönöm a családom, barátaim támogatását a kutatásom során.

## 14. 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 tudománytermetriai ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján elvégezte.

Debrecen, 2022.07.01.



## 15. NYILATKOZATOK

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola keretében készítettem, a Debreceni Egyetem doktori (Ph.D.) fokozatának elnyerése céljából.

.....

a jelölt aláírása

Tanúsítom, hogy **SIMKÓ ATTILA** doktorjelölt 2017-2021 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2022, .....

.....

a témavezető aláírása