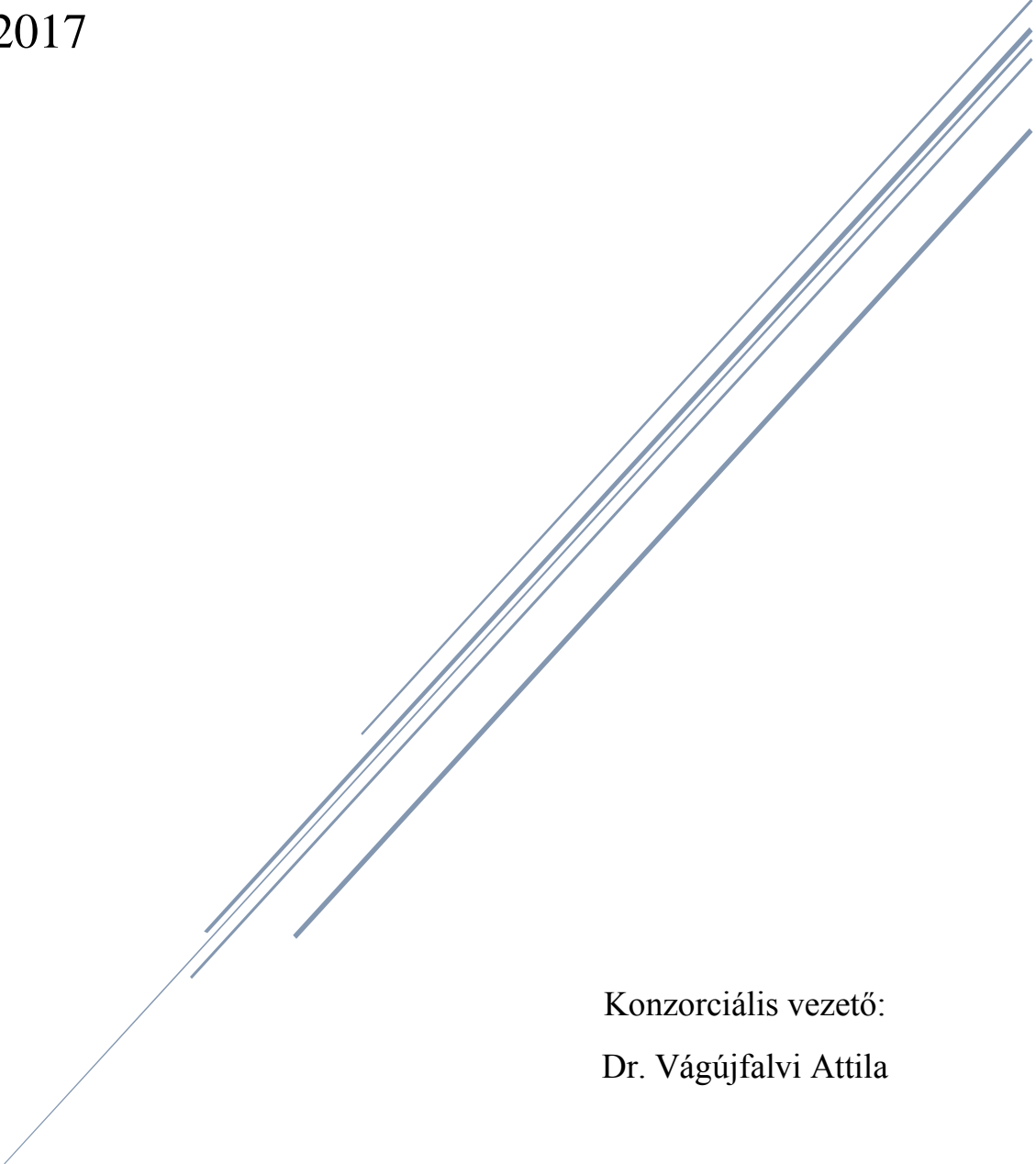


# ZÁRÓJELENTÉS

Nitrogén hasznosítási hatékonyság jellemzése és javítása  
őszai búzában asszociációs térképezés segítségével

**OTKA K101794**

2012-2017



Konzorciális vezető:  
Dr. Vágújfalvi Attila

## TARTALOM

1. A PÁLYÁZAT .....	1
futamideje .....	1
résztevői .....	1
nehézségei .....	1
2. SZAKMAI BESZÁMOLÓ .....	2
A pályázat rövid ismertetése .....	2
A pályázat eredményei .....	2
A búza N-hasznosítási hatékonyságát befolyásoló lókuszek azonosítása asszociációs térképezés segítségével. ....	2
A SPAD érték kalibrációja termés-előrejelzéshez .....	5
A környezet (évjárat/termőhely) N-hasznosításra gyakorolt hatásának vizsgálata.....	6
Kiemelkedő N-hasznosítási és N-felvételi hatékonysággal rendelkező genotípusok azonosítása .....	6
A N-hasznosítás kialakításában résztvevő kulcsfontosságú élettani jellegek azonosítása.	9
A talaj műtrágyaterhelésének vizsgálata liziméterekkel .....	11
Közlemények.....	15

### 1. A PÁLYÁZAT

#### *futamideje*

A négyéves pályázat harmadik évében a munka jellege miatt egy egyéves futamidő hosszabbítást kértünk, melyet hivatalosan jóváhagytak (EIK-6352/2014.11.10-i engedély).

#### *résztevői*

A legjelentősebb változást a konzorciális vezető cseréje jelentette. Dr. Bálint András a pályázat indulása után nem sokkal kilépett az MTA-tól. Feladatát az azonos tudományos osztályon dolgozó Dr. Vágújfalvi Attila vette át. A pályázat zárása előtt negyedévvvel távozott Dr. Szira Fruzsina vezető kutatóhölgy („senior”) A személyi változásokat részletesen feltüntettük az elektronikus felület megfelelő helyén.

#### *nehézségei*

A konzorciális vezető távozása nem okozott problémát. A pályázat zárása, és a kutatás fő témáját (GWAS) összefoglaló kézirat megjelentetése előtt kilépett „senior” kollegina távozása a kutatás zárását nem segítette elő. Ennek ellenére a kutatás feladatait teljesítettük.

A pályázat terhére került beszerzésre a növényi minták nitrogén tartalmát meghatározó Elementar Rapid N III készülék. A beszerzés tervezésekor a lehető legnagyobb alaposággal jártunk el, ezért igen nagy meglepetést okozott az, amikor a készüléket szállító partner, egyben a készülék működéséhez szükséges eszközök és fogyóanyagok kizárólagos forgalmazója a megvétel után, a folyamatos működéshez szükséges fogyóeszközök beszerzéséhez az árajánlatát mintegy 700, majd 1000 Ft/minta összegre kalkulálta, holott a műszer beszerzésekor ez az ár csupán 130 Ft/minta volt. Ugyanis a pályázat

kalkulációját ennek az összegnek a tudatában készítettük el. Az egyeztetések folyamán sikerült 310 Ft/minta összegben megállapodni. A takarékos üzemeltetéssel a pályázat feladatát sikerült teljesítenünk.

## 2. SZAKMAI BESZÁMOLÓ

### *A pályázat rövid ismertetése*

A pályázat céljai a következők voltak:

1. A búza nitrogén (N) hasznosítási hatékonyságát befolyásoló lókuszek azonosítása asszociációs térképezés segítségével.
2. Kiemelkedő N-hasznosítási és N-felvételi hatékonysággal rendelkező genotípusok azonosítása.
3. A környezet (évjárat/termőhely) N-hasznosításra gyakorolt hatásának vizsgálata.
4. A N-hasznosítás kialakításában résztvevő kulcsfontosságú élettani jellegek azonosítása.

A pályázat egy 93 őszi búza fajtából álló gyűjteményben vizsgálta az őszi búza nitrogén (N) hasznosítását. A 2012-ben kezdődő hároméves szántóföldi kispárcellás kísérletben két nitrogénszinten (0 kg/ha és 120 kg/ha) teszteltük a növényeket Martonvásáron, három ismétlésben. A genetikai térképezést teljes genomasszociációs vizsgálattal (GWAS: Genome Wide Association Study) végeztük el, melyhez a nitrogénhasznosítással, agronómiai és élettani jellegekkel összefüggő fenotípusos adatokat vételeztünk fel. A környezeti hatások szerepét eltérő termőhelyeken, 3 egymást követő termőévben, illetve egy szelektált fajtagyűjteményen (20 fajta), eltérő klimatikus és talajtani körülmények között, Keszthelyen is teszteltük egy kétéves kispárcellás szántóföldi kísérletben. A nitrogénhasznosítást feltételezhetően meghatározó élettani paramétereket a keszthelyi anyagon tanulmányoztuk. A kijuttatott, ám nem hasznosult nitrogén műtrágya mennyiségét liziméteres kísérletekkel határoztuk meg Szarvason.

### *A pályázat eredményei*

*A búza N-hasznosítási hatékonyságát befolyásoló lókuszek azonosítása asszociációs térképezés segítségével.*

A 93 őszi búza fajtából álló populáción az asszociációs térképezéshez szükséges genotipizálást DArT-Seq® platformon végeztük el (Triticarte Pty. Ltd.). A genotipizálás eredményeként kapott mintegy 12 ezer SNP és 13 ezer silicoDArT polimorf marker minőségi szűrése után 3290 olyan polimorf markerrel dolgozhattunk, melyeknek kromoszómális pozíciója is ismert volt és megfelelt a további analízisek követelményeinek. Megállapítottuk, az A és a B genom kellő marker-lefedettségű (1210 és 1631 marker), míg a D genom (más DArT és DArTseq elemzésekhez hasonlóan) alulreprezentált (449). A markertelítettségnek megfelelően 50 cM-nál nagyobb, markerrel le nem fedett genomterületeket (marker gap) csak a D genomon tapasztaltunk.

A fajtagyűjteményünk populációstruktúra analízisét különböző metodikákkal is elvégeztük. A populáció struktúráltóságát hierarchikus Bayesian módszerrel elemeztük Structure szoftver segítségével. Majd az eredményeket a populáció genetikai távolság-értékeiből képzett PCoA főkoordináta (PCoA) analízis eredményeivel is megerősítettük. Ezek szerint a populáció struktúra analízis két alpopuláció (Sp1 és Sp2) meglétét igazolta. A második alpopulációba gyakorlatilag csak azok a martonvásári fajták tartoztak, melyek pedig az MV Magdaléna vagy a Mironovszkaja fajtákra vezethető vissza. A fajták filogenetikai rokonságát TASSEL programmal tanulmányoztuk.

A genetikai kapcsoltság (Linkage Disequilibrium, LD) analízist mind a két alpopulációra, mind a teljes populáció egészére elvégeztük. Az intrakromoszómális LD analízist a Haploview programmal készítettük el. A kapcsoltság csökkenésének (LD decay) átlagos távolsága 8,44 cM-nak adódott a teljes populációban, ez az érték a legkisebb az A, legnagyobb a D genomon volt.

A 93 őszi búza fajtából álló populáció döntően Magyarországon köztermesztésben lévő modern fajtákból állt, de szerepelt benne két klasszikus, régi (Bánkúti 1201, Bezosztaja 1) és több más országból származó (pl.: francia, török, bolgár, osztrák, orosz), ám a hazai nemesítésben szerepet játszó fajta is. A fajták egyharmada martonvásári, egyharmada szegedi (GKI) nemesítésű búza volt. A kísérletben egy, a természetes N hasznosítást vizsgáló N trágyázás nélküli, és egy növénytermesztési gyakorlatnak megfelelő, 120 kg/ha N trágyázási szint került beállításra. A 93 genotípus három ismétlésben szerepelt mindkét kezelésben. Egy kisparcella nettó mérete 3,0 m x 1,44 m volt. A talaj nitrogéntartalmát és nitrogén szolgáltató képességét a műtrágya kijuttatása előtt meghatároztuk, mely mindhárom kísérleti évben eltérő volt: 21, 494 and 78 kg ha<sup>-1</sup>. A meteorológiai paraméterek mellett a talaj nedvességtartalmát minden évben, hat mélység-szinten, folyamatosan rögzítettük. Mivel a vizsgálat három tenyészidőszakában jelentős eltérés volt a talaj természetes N-szolgáltatásának szintjében, valamint az időjárási paraméterekben, ezért e három kísérleti évet nem ismétlésnek, hanem három külön környezetben elvégzett kísérletnek tekintettük az analízisek során.

Munkánk során minden kísérleti évben, mindkét kezelés során, mindhárom ismétlésben 19 agronómiai paramétert rögzítettünk, kalkuláltunk. Ezek egy része a növények fejlődésére jellemző paraméter (virágzási idő, növénymagasság) volt, de rögzítettük a legfontosabb termésjellemzőket is (termés, ezerszemtömeg, kalászsám, kalásonkénti szemszám, harveszt index, stb.). A pályázat teljes időtartama alatt több ezer növényi minta (szalma és szemtermés) N tartalmának meghatározását végeztük el. Ezt a feladatot a pályázat keretében beszerzett N tartalom meghatározására alkalmas készülékkel (Elementar Rapid N III) hajtottuk végre. A mért nitrogéntartalom és termésmennyiség alapján meghatározásra kerültek a nitrogénhasznosítást jellemző paraméterek (NUE: N hasznosítási, NUpE: N felvételi, NUtE: N hasznosulási hatékonyság), mellettük azonban még 6 nitrogénháztartással kapcsolatos paramétert definiáltunk a jelleg minél körültekintőbb, több szempontú jellemzése érdekében. A növények nitrogénállapotának jellemzésére SPAD méréseket is végeztünk. Az adatok statisztikai elemzéséhez SPSS statisztikai szoftvert használtunk.

A fenotípusos adatok analízise igazolta, a három kísérleti év minden vizsgált jellege esetében eltérő volt. Ezt legjobban a három kísérleti év termésátlagai szemléltetik (1. táblázat).

1. táblázat A három tenyészidőszak termésátlaga kezeletlen (N0) és kezelt (N120) körülmények között.

	első év		második év		harmadik év	
	N0	N120	N0	N120	N0	N120
Termés (kg ha <sup>-1</sup> )	2338**	3963**	4887	6656	3802***	5153***

Elemeztük az egyes jellegek közötti korrelációkat minden évben, mindkét N szinten. A NUE két komponensét tekintve szorosabb korrelációt találtunk a NUE és NUpE között, mint a NUE és NUtE között. Ami megerősíti a varianciaanalízis vizsgálatunk eredményét, miszerint a NUE kifejeződésében nagyobb szerepet játszik a NUpE (nitrogén felvétel hatékonysága) mint a NUtE (nitrogén hasznosulási hatékonyság). Az elemzés során elsősorban a N hasznosítással kapcsolatos jellegekre összpontosítottunk, de az összes talált korrelációt analizáltuk és értelmeztük.

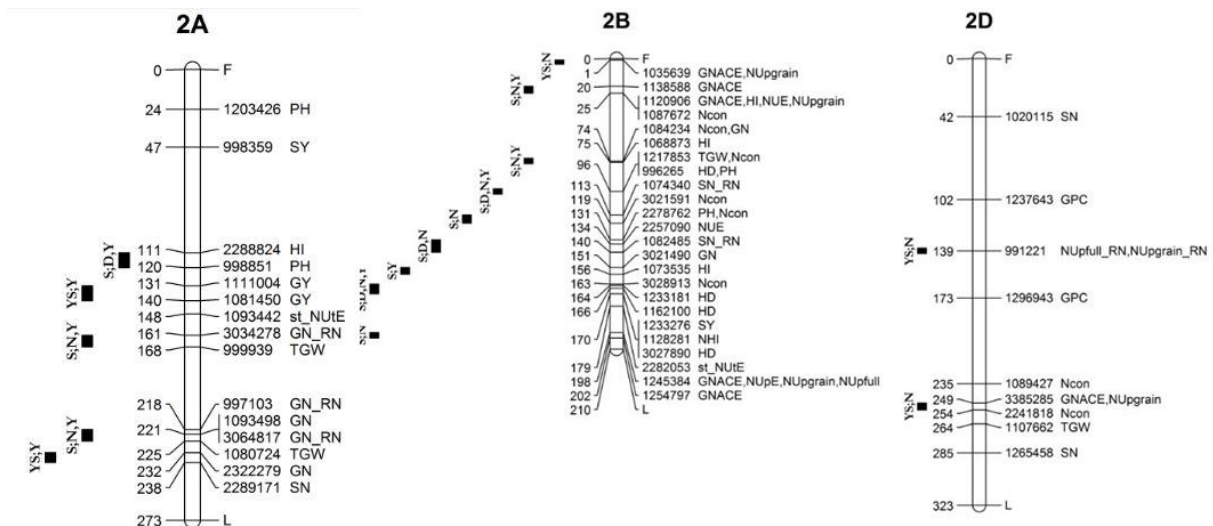
A teljesgenom asszociációs vizsgálatot (GWAS) a TASSEL programmal végeztük el. A fals asszociációk elkerülése érdekében a Marker — Tulajdonság közti Asszociáció (MTA)-hoz tartozó „P” érték meghatározását négy statisztikai modellel is elvégeztük (GLM+Q-mátrix, GLM+PCA, MLM+K-

mátrix, MLM+Q és K mátrix), mely modellekkel a populáció struktúra hatását korrigáltuk. A többszörös tesztelésből adódóan megnövekedett elsőfajú hiba problematikájának kezelésére a Benjamini-Hochberg féle hamis találati arány (fals discovery rate) statisztikai módszert alkalmaztuk. Valós MTA-nak azt tekintettük, ha mind a négy modell esetében a hamis találati arány által meghatározott kritikus szignifikancia értéknél kisebb „P” értéket kaptunk az adott MTA-nál. A GWA analízist 6 környezetben (3 év és két kezelés) az összes 19 tulajdonságra elvégeztük. A N hasznosítás szempontjából leginformatívabb tulajdonságok esetében a N kezelés hatásának a mértékét (azaz az N120/N0 arányát) mint „jelleg” is térképeztük. Összességében 223 markeren 320 MTA-t írtunk le; a 21 kromoszóma mindegyikéhez találtunk legalább egy asszociált tulajdonságot. A legtöbb MTA-t, 26-ot a biomassza N-koncentrációjára kaptunk; ezzel hasonló számú (24) asszociációt találtunk az ezerszemtömegre. Nyolc kromoszómán 13 MTA-t határoztunk meg a NUE (2. táblázat), míg 11-et a NUpE és 10-et a NUtE (6, ill. 7 kromoszómán) paraméterek esetében.

2. táblázat MTA-k a NUE paraméterre

	<u>Chr</u>	Year	Position (cM)	<u>Markername</u>	-log10 (p-value)	N input level	Allele	Effect	<u>Obs</u>
NUE	1A	2013	15	1143089	3.85	120	A	-7.96	77
	1B	2014	64	2321290	3.22	0	A	2.03	61
	1B	2014	173	2322599	2.68	120	A	-1.68	73
	2B	2015	25	1120906	3.35	120	A	-5.72	71
	2B	2014	134	2257090	3.47	0	A	2.13	40
	2B	2014	134	2257090	2.75	120	A	1.56	40
	3A	2014	41	1117907	2.98	0	A	2.02	63
	3A	2014	107	990692	2.67	0	C	1.84	25
	3B	2013	156	1862716	2.86	0	A	-15.52	55
	4B	2014	91	1024824	2.91	120	C	-1.72	25
	6A	2015	111	1094425	3.59	0	A	13.24	74
	6A	2015	112	1092206	3.53	0	C	10.82	65
	7A	2015	286	1107195	2.91	120	A	-5.62	72

A B genomon találtuk a legtöbb MTA-t (158), az A genomon 134-et, míg a D genomon csupán 28-at azonosítottunk. A homeológ csoportok közül az 2-es és a 7-es kromoszómákon találtuk a legtöbb (64, 52), míg a 4-esen a legkevesebb (31) szignifikáns asszociációt. Az azonosított MTA-k kromoszómális pozícióinak és az LD csökkenés mértékének figyelembe vételével a 10 cM-on belüli MTA-kat egy QTL régióba tartozóknak tekintettük. Ily módon 80 QTL régiót helyeztünk el a kromoszómális térképen — azonban volt olyan 57 MTA is, amelyek nem voltak QTL régióba sorolhatók. Az azonosított, lokalizált MTA-k és QTL régiók megjelenítését (hely hiányában csupán) az 2-es homeológ csoport esetében mutatja be az 1. ábra.



1. ábra A 2-es homeológ kromoszómákon azonosított MTA-k és QTL régiók

38 olyan QTL régiót azonosítottunk, amelyeket egyetlen kísérleti évben kerültek azonosításra, míg 42 QTL régió legalább két évben is megjelent, ezeket „stabilaknak”, azaz a évjáráthatástól függetlenül megjelenőnek tekintettük. A QTL régiókat az őket meghatározó MTA-k jellege alapján is csoportosítottuk. „Több fenotípusos jellegre hatást gyakorló” QTL régióknak azokat tekintettük, amelyeket legalább két különböző jelleggel kapcsolatos MTA definiált. Ezeket az őket definiáló MTA-k jellege alapján további három csoportba soroltuk: „fejlődési” jellegekre ható QTL (pl. növénymagasság, kalászolási idő), terméssel kapcsolatos QTL (pl. terméshozam, szemszám, ezerszemtömeg, stb.), illetve N-hasznosítással kapcsolatos QTL (pl. NUE, NUprE, NUtE, nitrogén harveszt index, stb.). Ily módon 15 „fejlődési”, 44 terméssel és 64 N-hasznosítással kapcsolatos QTL régiót térképeztünk az 1D, 3D és a 4D kromoszómák kivételével a teljes genomon. Az azonosított QTL régiókat természetesen összevetettük az irodalomban már közltekkel. Azonban mivel ez a terület meglehetősen új, ezért kevésbé vizsgált, az általunk leírt eredmények túlnyomó többsége novum. Az asszociációs analízis eredményeit bemutató kézirat (megkésve, de) elkészült, melyet a formai, nyelvi ellenőrzés után a PLOS ONE folyóirathoz küldünk be közlésre.

#### A SPAD érték kalibrációja termés-előrejelzéshez

A hároméves kísérlet során a nitrogén-ellátottság monitorozására a növények SPAD értékét minden évben megmértük kalászoláskor. E metodika a gyakorlatban széleskörűen alkalmazott – azonban az is ismert, hogy az adott fenofázisban mért SPAD érték egyrészt genotípus függő, másrészt a környezeti faktorok is befolyásolhatják azt. Egy szűkített fajtakörön (40 fajta) ezért e kérdést is analizáltuk, illetve vizsgáltuk azt is, hogy a kalászoláskori (GS 59) SPAD érték alapján mennyire pontosan határozható meg a terméshozam. Megállapítottuk, erős szignifikáns pozitív korreláció áll fent a SPAD érték és a terméshozam között, ez azonban fajtafüggő. Minden egyes fajtára közöltünk egy regressziós egyenletet, mely alapján az adott fajta terméshozama a kalászoláskor mért SPAD értékel alapján prediktálható. Ezen eredményeinket az Euphytica szaklapban közöltük.

*A környezet (évjárat/termőhely) N-hasznosításra gyakorolt hatásának vizsgálata.*

Az ANOVA azt mutatta, hogy a variancia legnagyobb hányadát az évjáratthatás (környezeti variancia) okozta a legtöbb vizsgált jelleg esetében. A N kezelés is szignifikáns hatást igazolt szinte minden jelleg esetében (nem szignifikáns volt a hatás az ezerszemtömeg és a kalászolási esetében), sőt, a kezelés bizonyult a második legnagyobb jelentőségűnek a fenotípusos variancia kialakulásában 6 vizsgált jelleg esetében. A genetikai variancia magyarázta a variancia legnagyobb hányadát az ezerszemtömeg és a harveszt-index esetében, továbbá a variancia második legnagyobb hányadát tudta magyarázni a környezeti variancia után 11 további jellegnél. A genotípus-környezet interakció jelentős mértékben hozzájárult a fenotípusos variancia magyarázatához a legtöbb vizsgált jelleg esetében. Míg a N-kezelés — környezet interakció a NUE, NUpE és a GNACE jellegek varianciájának magyarázta jelentősebb részét. A Nitrogénhasznosítással kapcsolatos legfőbb paraméterek analizését a 3. táblázat mutatja be.

*3. táblázat A nitrogénhasznosítás főbb paramétereinek variancia-analízise*

<u>Trait</u>	<u>Source of variation</u>	SS	df	MS	F	p
<u>Grain yield</u>	<u>Genotype (G)</u>	85818	92	903	3,4	0,000
	<u>Input level (I)</u>	41417	1	41417	156,2	0,000
	<u>Year (Y)</u>	292578	2	146289	551,6	0,000
	<u>I x G</u>	25078	92	264	1,0	0,495
	<u>I x Y</u>	6255	2	3128	11,8	0,000
	<u>G x Y</u>	83423	184	439	1,7	0,000
<u>Nitrogen use efficiency</u>	<u>Genotype (G)</u>	40234	92	424	1,5	0,003
	<u>Input level (I)</u>	372142	1	372142	1299,6	0,000
	<u>Year (Y)</u>	669658	2	334829	1169,3	0,000
	<u>I x G</u>	19810	92	209	0,7	0,974
	<u>I x Y</u>	402347	2	201173	702,5	0,000
	<u>G x Y</u>	47523	184	254	0,9	0,844
<u>Nitrogen uptake efficiency</u>	<u>Genotype (G)</u>	22	92	0	0,9	0,816
	<u>Input level (I)</u>	186	1	186	702,0	0,000
	<u>Year (Y)</u>	289	2	144	546,2	0,000
	<u>I x G</u>	16	92	0	0,6	0,998
	<u>I x Y</u>	159	2	80	301,1	0,000
	<u>G x Y</u>	36	184	0	0,7	0,997
<u>Nitrogen utilization efficiency</u>	<u>Genotype (G)</u>	3300829	92	34746	2,7	0,000
	<u>Input level (I)</u>	2672960	1	2672960	206,5	0,000
	<u>Year (Y)</u>	7925219	2	3962609	306,1	0,000
	<u>I x G</u>	727733	92	7660	0,6	0,999
	<u>I x Y</u>	108059	2	54030	4,2	0,016
	<u>G x Y</u>	2822938	184	15016	1,2	0,088

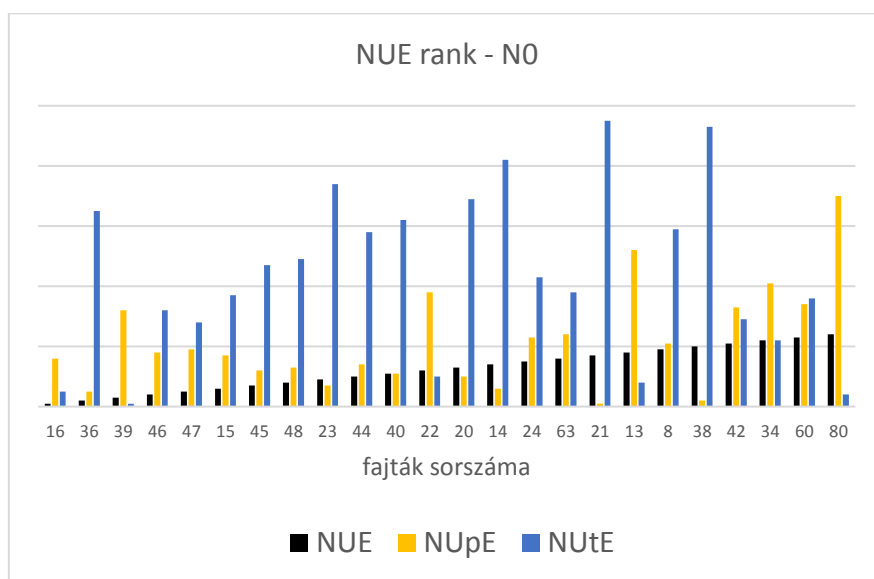
*Kiemelkedő N-hasznosítási és N-felvételi hatékonysággal rendelkező genotípusok azonosítása*

Rangsoroltuk a fajtákat az alacsony (N0), illetve kielégítő nitrogén ellátottságon (N120) számolt NUE (4. táblázat) alapján. Ily módon azonosítottuk azokat a fajtákat, amelyek jó nitrogénhasznosítást mutatnak extenzív körülmények között is, és meghatároztuk azokat is, amelyek az intenzív termesztési gyakorlatnak megfelelő N ellátottságon a legjobb N hasznosítási hatékonysággal rendelkeznek. A fajták műtrágya reakcióját is vizsgáltuk, így információt kaptunk arról, hogy mely fajtáknak hálálják meg jobban a kijutatott fejtrágyát.

4. táblázat A fajták rangsorolása NUE alapján. A színek az első évi fajtasorrend alapján való negyedes besorolást mutatják

N0					N120					
Variety	Yield	Harvest-index	Grain N%	NUE	Variety	Yield	Harvest-index	Grain N%	NUE	
Mv Petrence					Mv Hombár					Upper-Q
GK Hajnal					SLAVNA					Inter-Q
GK Petur					IS Karpatia					Inter-Q
GK Hattyú					MOSKVICH					Lower-Q
Mv Regiment					Bardotka					
HATCHER					GK Vitorlás					
GK Fény					Mv Magvas					
MOSKVICH					Mv Pengo					
GK Ati					Kalahári					
GK Vitorlás					Baletka					
Mv Pántlika					Dunai					
Baletka					Mv Apród					
IS Bonnet					GK Berény					
GK Csillag					GK Kapos					
Bardotka					Josef					
Karolinum					CORDIALE					
Mv Palotás					Mv Ködmön					
GK Rozi					Mv Csárdás					
GK Göncöl					Fulvio					

Mivel pályázatunk a nitrogén hasznosításra összpontosít, ezért ennek legfőbb paraméterét, a NUE-t több szempontból tovább elemeztük. Évenként és kezelésenként minden fajta NUE, NU<sub>p</sub>E, NU<sub>t</sub>E paraméterét rangsoroltuk. Ezeket a rangsorokat összevetettük, így képezve egy-egy fajtára jellemző minősítést (2. ábra). Az ábráról szembetűnő, hogy nagyon különböző komponensekből és genetikai háttérből közel azonos NUE érték kaphatunk, ezért a NUE javítására történő nemesítésben, a megfelelő keresztezési partnerek kiválasztásához nagyon fontos a komponensek, a NU<sub>p</sub>E és a NU<sub>t</sub>E ismerete.



2. ábra A fajták (a láthatóság kedvéért csak az első 24) jellemzése a nitrogénhasznosítási képesség (NUE) növekvő sorrendje alapján N0 kezelésben. Az ábra az adott NUE két komponensének fajtasorrenden belüli sorrendjét is megmutatja



Vizsgáltuk azt is, hogy a fajták a három évben, az adott kezelés során, a kiválasztott fenotípusos jelleg rangsorát összesítve hogyan teljesítettek a fajtasor egészéhez képest, azaz volt-e olyan fajta, amelyik mindhárom évben az adott N szinten a fajták sorrendjének első negyedében (Q1), vagy akár az első dekádjában (D1) végzett. Ezeket az analíziseket természetesen a N-reakciókra is elkészítettük. Néztük továbbá a magyar (MV és GK) fajták előfordulási gyakoriságát a Q1 és D1-ben, illetve a két alpopuláció reprezentációját is a rangsorolásokban. Egy ilyen analízist, a NUE hároméves adatainak összesítésén alapuló, a fajták Q1 és D1 rangsorolását mutatja be a 3. ábra. Ebből kiderül, a N kezelés során 9 olyan fajta volt (2 martonvásári, 2 szegedi, 5 egyéb), amely a három évből két évben is a legjobb negyedbe került, és az is, hogy volt egy olyan (74: Kalahari), amelyik mindhárom évben is a Q1-ben végzett. Azt is bemutatjuk, hogy 3 fajta volt, amelyik a 3 kísérleti évből kettőben a legelső 10%-ba (D1) került a NUE értéke alapján (egy martonvásári /a 16-os/, és két szegedi /62 és 80/ nemesítésű fajta).

N120	Q1				D1			
	fajta	NUE	fajta	NUE	fajta	NUE	fajta	NUE
	5	31,1	58	13,5				
	8	35,7	59	51,4				
	8	13,9	60	45,4				
2013	9	13,2	61	31,3				
2014	10	13,1	62	43,1				
2015	11	37,0	62	14,2				
Mv	12	37,5	65	34,9				
GK	13	35,1	65	36,2				
EU	13	31,5	66	32,7				
	14	39,4	67	35,7				
	15	33,4	68	33,9				
	16	38,1	68	16,0				
	16	40,5	69	36,7				
	19	12,6	70	12,7				
	21	44,0	71	13,5				
	22	36,7	72	12,6				
	23	39,1	72	31,1				
	24	12,2	74	35,9				
	25	32,2	74	12,8				
	26	12,4	74	39,7				
	30	13,5	76	32,3				
	36	12,4	78	16,4				
	37	31,1	79	32,8				
	38	33,4	80	13,4				
	40	34,4	80	35,6				
	42	12,3	81	41,3				
	45	13,0	82	32,0				
	45	32,9	83	12,6				
	46	13,6	83	33,9				
	47	37,9	85	34,3				
	49	13,7	86	38,0				
	50	31,7	87	30,8				
	53	33,9	89	12,0				
	53	35,5	89	30,3				
	54	12,1	93	38,7				
	55	37,1	96	32,7				

Q1		D1	
fajta	NUE	fajta	NUE
Mv	22		
GK	14		
Eu	23		
		NUE	
		8	13,9
		N120	
		12	37,5
		ALL	
		14	39,4
		d1	
		16	38,1
		2013	
		16	40,5
		2014	
		21	44,0
		2015	
		22	36,7
		Mv	
		23	39,1
		GK	
		30	13,5
		EU	
		40	34,4
		46	13,6
		47	37,9
		49	13,7
		53	35,5
		55	37,1
		58	13,5
		59	51,4
		60	45,4
		62	43,1
		62	14,2
		65	36,2
		68	16,0
		71	13,5
		74	39,7
		78	16,4
		80	13,4
		80	35,6
		81	41,3
		86	38,0
		93	38,7

3. ábra A fajták NUE értékének Q1 és D1 analízise N120 kezelésem (MV: Martonvásár, GK: Szeged, EU: egyéb európai eredet)

*A N-hasznosítás kialakításában résztvevő kulcsfontosságú élettani jellegek azonosítása*

A Pannon Egyetem munkatársai (Georgikon Kar, Keszthely) a pályázat harmadik évében, 2014 őszén kapcsolódtak be a szántóföldi kísérletek kivitelezésébe. A két megelőző évben Martonvásáron 96 fajtaival végzett kísérlet eredményei alapján kiválasztottunk 10-10, a N hasznosítás szempontjából kontrasztos viselkedésű fajtát, melyek vizsgálatát a korábitól eltérő agro-ökológiai körülmények között folytattuk. A kísérletet három ismétlésben, két N-kezeléssel (0-, illetve 120 kg/ha N), 6m hosszú és 1,44 széles parcellákon, normál gabona sortávval állítottuk be. A kísérlet 120 parcelláján mindkét tenyészedőszakban felvételeztük az agronómiai szempontból fontos jellemzőket: mértük a növénymagasságot, a kalászosítás időpontját, a SPAD értékét, a termésmennyiséget, biomassza-tömeget, kalászsámot. Mintát vettünk N tartalom meghatározás céljából az összes parcella szemterméséből és szalmájából is, majd a Martonvásáron meghatározták a minták N tartalmát. A termés mennyiségében a különböző N ellátottság melletti kezelések között szignifikáns különbséget találtunk. A fejtrágyázás elmaradásából adódó nitrogénhiány fajtától függően 56 – 72%-os termés kiesést okozott.

Mivel a Keszthelyen két évben vizsgált 20 fajta Martonvásáron is mindhárom évben szerepelt, ezért összevetettük a terméshozamokat. A két kísérleti terület agrometeorológia szempontjából is meglehetősen eltérő, ily módon a környezeti hatás szerepét is vizsgálhattuk. A három, illetve két év átlagait összehasonlítva megállapítottuk, hogy az N0 kezelésben nincs különbség a termésben, azonban jelentős eltérés mutatkozott az N120 kezelésben: Keszthelyen 63%-kal nagyobb volt a vizsgált fajták termésének átlaga, és közel ekkora volt a különbség a N-reakciók esetében is (5. táblázat).

*5. táblázat A martonvásári (sárga) és a keszthelyi (kék) termésátlagok összehasonlítása.*

	N0				N120				%N0->N120		
	Mv	Kh	szór		Mv	Kh	szór		Mv	Kh	szór
	átlag	átlag		átlag	átlag		átlag	átlag			
<b>FAJTA</b>											
<b>3</b>	2 777	2 789	0,995	3 981	5 718	0,696	148	212	0,698		
<b>4</b>	3 169	2 952	1,074	4 832	7 939	0,609	168	289	0,581		
<b>5</b>	3 514	3 937	0,892	5 096	8 252	0,618	145	220	0,661		
<b>9</b>	3 835	3 706	1,035	5 689	8 189	0,695	153	232	0,660		
<b>13</b>	3 817	3 948	0,967	6 058	8 222	0,737	186	212	0,875		
<b>15</b>	2 593	3 544	0,732	4 713	7 973	0,591	179	239	0,748		
<b>16</b>	3 400	3 919	0,868	6 296	8 246	0,764	208	222	0,936		
<b>26</b>	3 116	3 105	1,003	4 332	8 107	0,534	132	278	0,475		
<b>27</b>	3 125	3 259	0,959	3 879	8 377	0,463	132	274	0,481		
<b>29</b>	1 894	3 085	0,614	3 105	7 753	0,401	190	262	0,728		
<b>39</b>	3 968	3 813	1,041	5 201	8 070	0,645	129	223	0,580		
<b>41</b>	3 908	3 593	1,088	4 463	7 959	0,561	116	231	0,503		
<b>56</b>	3 768	3 690	1,021	4 605	8 688	0,530	126	243	0,518		
<b>60</b>	4 068	4 501	0,904	6 609	9 825	0,673	175	227	0,770		
<b>67</b>	3 794	4 109	0,923	5 448	9 425	0,578	150	243	0,618		
<b>68</b>	5 142	4 128	1,246	6 501	9 096	0,715	134	230	0,580		
<b>75</b>	3 752	3 926	0,956	4 436	8 599	0,516	120	228	0,524		
<b>76</b>	4 231	4 371	0,968	5 627	9 035	0,623	136	221	0,616		
<b>81</b>	4 965	3 996	1,242	6 218	9 211	0,675	133	240	0,552		
<b>96</b>	3 108	3 363	0,924	4 988	7 878	0,633	180	258	0,699		
<b>Átl</b>	<b>3 597</b>	<b>3 687</b>	<b>0,973</b>	<b>5 104</b>	<b>8 328</b>	<b>0,613</b>	<b>152</b>	<b>239</b>	<b>0,640</b>		
<b>szór</b>	<b>754</b>	<b>471</b>	<b>0,145</b>	<b>952</b>	<b>841</b>	<b>0,093</b>	<b>27</b>	<b>22</b>	<b>0,127</b>		
<b>Kh/Mv</b>	1,025			1,632			1,574				

A kísérletsorozat egyik fő feladata annak felderítése volt, hogy a nitrogénhasznosítási képesség, és egyes élettani paraméterek, valamint a nitrogén kezelés között van-e összefüggés. Ezért a kalászosági időszakban elvégzett SPAD mérésrel egy időben mintát vettünk a nitrát reduktáz enzim (NR) aktivitásának meghatározásához, mely vizsgálatot azonnal el is végeztünk Keszthelyen. Mintát vettünk továbbá a glutamin szintáz (GS) enzim aktivitásának meghatározásához, mely vizsgálatot Martonvásáron végeztek el. Mértük a levelek relatív víztartalmát (RWC) és az ozmotikus potenciálját (OP) is. A fotoszintézis hatékonyságát a nettó fotoszintézis (PN), az intracelluláris CO<sub>2</sub> szint (Ci) mérésével tanulmányoztuk. A mért adatokat ANOVA analízissel értékeltük. Eredményeink szerint mind a termésben, mind a növények nitrogén ellátottságában (SPAD értékek) a kezelések között és a genotípusok között is mindkét kezelésben volt szignifikáns különbség. Szignifikáns változást okozott a N kezelés a fajták között a fotoszintézissel összefüggő paraméterek, valamint a NR és a GS enzimaktivitások esetében. Adott kezelésen belül a fajták közötti különbségeket az egyes paraméterek esetében az 6. táblázat foglalja össze.

6. táblázat A mért jellegek statisztikai elemzésének összesítése (+: szignifikáns különbség, RWC: relatív víztartalom, OP: ozmotikus potenciál, PN: nettó fotoszintetikus ráta, Ci: intracelluláris CO<sub>2</sub> konc., GS: glutamát szintáz aktivitás, NR: nitrát reduktáz aktivitás)

	szignifikáns különbség		
	Kezelés között	Fajták között	
jelleg		N0	N120
RWC	-	-	-
OP	-	+	-
PN	+	+	+
Ci	+	-	-
GS	+	+	-
NR	+	-	+
SPAD	+	+	+
Termés	+	+	+

Mivel a nitrogénhasznosítás a kutatásunk központi kérdése, ezért analizáltuk a NUE paraméterben legjobb 3 (zöld színek) és legrosszabb 3 (piros színek) fajtának az élettani paramétereit. A teljesítés sorrendjeinek összehasonlítása és a színek használata megkönnyíti annak értelmezését, hogy az adott NUE kialakításában mely paramétereknek van szerepe (7. táblázat). Így könnyen látható, hogy a jó NUE-hez a N anyagcsere kezdeti két kulcsenzime közül a NR-nak nincs köze, a GS-nek azonban lehet. A mindkét N szinten legjobb NUE-vel rendelkező fajta (60: Euclide) mindkét NUE-t meghatározó paraméterben (NUpE, NUtE) a legjobb háromban volt, ami mögött kiemelkedő fotoszintézis és GS aktivitás állt. Ilyen egyértelmű összefüggés azonban más esetben nem igazán mutatható ki, ami a nitrogénhasznosítás komplex jellegére és vizsgálatának nehézségeire is utal.

7. táblázat A NUE meghatározásában szerepet játszó élettani paramétereinek analízise. A számok a fajta azonosítóját jelenik. A „rank” az adott jelleg teljesítését mutatja a fajták sorrendjében. A színek alkalmazása (zöldek: jó, pirosak: rossz) az átláthatóságot hivatott segíteni

rank	N0							N120						
	NUE	NUPE	NUTE	Ci	PN	GS	NR	NUE	NUPE	NUTE	Ci	PN	GS	NR
1	60	76	60	76	68	76	39	60	76	60	60	5	60	16
2	76	16	68	60	39	60	5	68	5	75	29	41	16	39
3	68	60	39	3	27	3	16	76	68	68	76	16	29	29
4	39	75	76	75	41	68	75	16	41	27	16	75	76	3
5	41	41	41	27	76	75	68	75	16	76	3	39	27	68
6	5	5	5	41	75	41	41	41	60	39	68	68	39	5
7	75	29	75	39	16	27	3	5	29	16	39	76	68	75
8	16	68	16	29	3	29	76	39	39	29	75	27	41	41
9	29	39	29	68	60	39	60	27	27	41	41	29	75	27
10	3	3	27	16	5	16	27	29	3	5	5	60	3	76
11	27	27	3	5	29	5	29	3	75	3	27	3	5	60

*A talaj műtrágyaterhelésének vizsgálata liziméterekkel  
A konzorciális társ pályázat eredményei*

A konzorciális társ pályázat kísérletei a Nemzeti Agrárkutatási és Innovációs Központ Öntözési és Vizgazdálkodási Önálló Kutatási Osztályon, a szarvasi NAIK ÖVKI Liziméter Telepen folytak. Kísérleteink beállításához 64 db 1 m<sup>3</sup> térfogatú, átfolyó vizes, gravitációs lizimétert használtunk fel. A két éves kísérlet során a martonvásári előzetes eredmények alapján 4-4 eltérő nitrogén hasznosítású fajtát tanulmányoztunk. A kísérletek kezdetén elvégeztük az összes liziméterben a talajok vizsgálatát. Az analitikai mérésekre a NAIK ÖVKI Környezetanalitikai Központ akkreditált vizsgáló laboratóriumában került sor. Az analitikai vizsgálat és a statisztikai elemzés szerint a kezelésekre felhasznált liziméterek kiinduló N-tartalma között nem volt szignifikáns különbség. Négy nitrogén kezelést állítottunk be: 0, 60+60, 120 és 120+60 kg/ha dózisokat alkalmaztunk. Így lehetőség nyílt az azonos mennyiségű, de megosztott trágyázás hatásának tanulmányozására is. A kontrollnak tekintett parcellákra nem juttattunk N-műtrágyát. Fajtánként és kezelésként 4-4, összesen 64 liziméterben végeztünk kísérleteket.

Kísérletünk első évében a kijuttatott N-műtrágya minden kezelésben jelentősen növelte a terméseredményeket a kontroll, műtrágyázatlan parcellákhoz képest (8. táblázat). A megosztott műtrágyaadagok kedvező hatása mind a négy fajta esetében megmutatkozott.

8. táblázat Terméseredményeinek összehasonlítása liziméterekben

	Kinachi-97	Euclide	Sultan-95	Mv Toborzó
N-dózis	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>	g/m <sup>2</sup>
0	256,08	297,96	254,53	201,01
60+60	641,79	704,13	592,85	584,96
120	559,43	659,60	532,65	472,25
120+60	628,63	662,24	673,85	631,10

A NUE értékek statisztikai analízise alapján elmondható (9. táblázat), hogy a 120+60 kg/ha dózis esetében a vizsgált fajták között nem volt szignifikáns különbség, míg a többi esetben volt.

9. táblázat A fajták NUE paramétereit

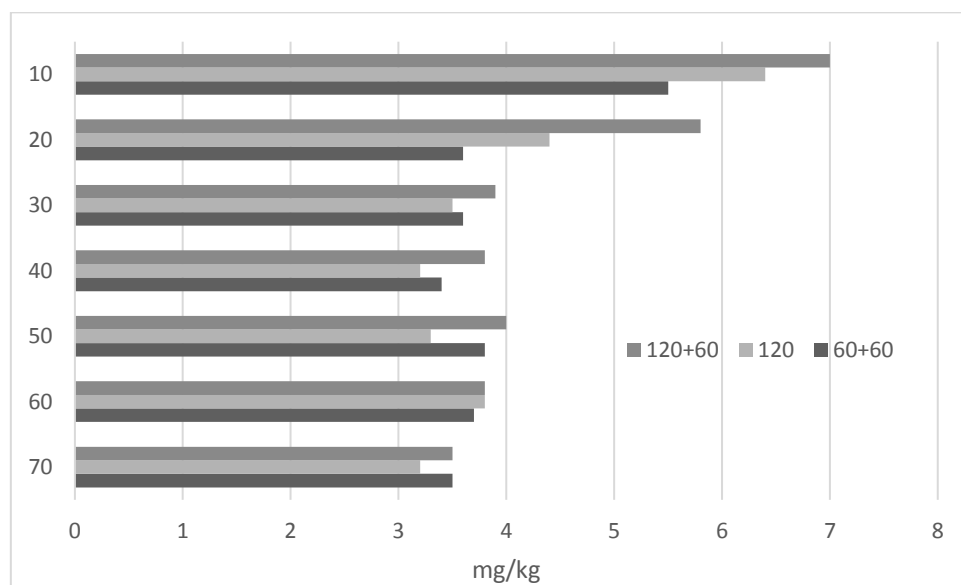
	Kinachi-97	Euclide	Sultan-95	Mv Toborzó
<b>60+60</b>	53,5 <sub>a,b</sub>	58,7 <sub>a</sub>	49,4 <sub>b</sub>	48,7 <sub>b</sub>
<b>120</b>	46,6 <sub>b</sub>	55,0 <sub>a</sub>	44,4 <sub>b</sub>	39,4 <sub>b</sub>
<b>120+60</b>	34,9 <sub>a</sub>	36,8 <sub>a</sub>	37,4 <sub>a</sub>	35,1 <sub>a</sub>

A betakarított termésekből Kjeldahl-módszerrel meghatároztuk a N-tartalmat, amely a kijuttatott N mennyiségével egyenes arányban növekedett (10. táblázat). A vizsgált fajták közül kiemelkedett az Mv Toborzó, amely minden kezelésben a legmagasabb értéket mutatta. A három másik fajta értékei közel azonosak voltak.

10. táblázat A fajták Kjeldahl-N tartalma (m/m %) a termés szárazanyagtartalmában

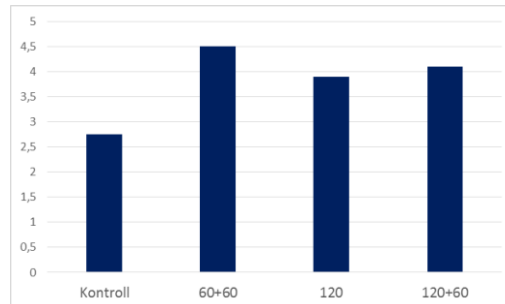
	Kontroll	60+60	120	120+60	Átlag
<b>Euclide</b>	1,31	1,60	1,48	1,87	1,56
<b>Mv Toborzó</b>	1,94	1,98	2,00	2,22	2,04
<b>Sultan-95</b>	1,36	1,57	1,56	1,96	1,61
<b>Kinachi-97</b>	1,22	1,67	1,60	1,92	1,60
<b>Átlag</b>	<b>1,46</b>	<b>1,70</b>	<b>1,66</b>	<b>1,99</b>	

A kísérlet lezárása után valamennyi liziméterből 10 cm-es talajrétegenként mintákat vettünk és meghatároztuk a talaj N-tartalmát. A 4. ábra A kísérleti liziméterek átlagos nitrogén tartalom (mg/kg) változása az aratás után a talaj 10 cm-es rétegeiben jól mutatja, hogy a kísérleti évhez hasonló, csapadékszegény időszakban a nagyobb adagú N-dózisok is csak a talajfelszín közelében (felső 20 cm) emelik meg a N-tartalmat.



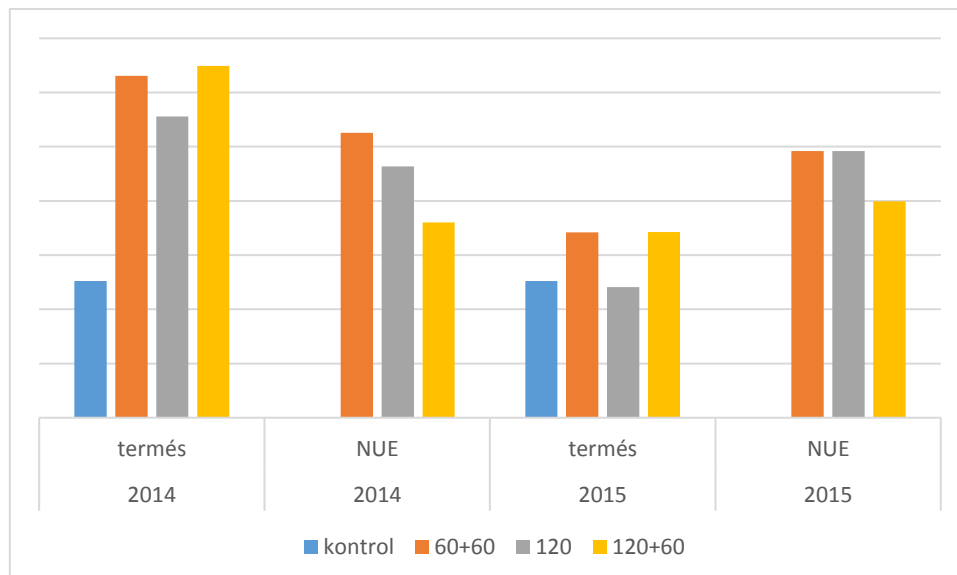
4. ábra A kísérleti liziméterek átlagos nitrogén tartalom (mg/kg) változása az aratás után a talaj 10 cm-es rétegeiben

Az elszivárgó talajvíz N-tartalmának meghatározásához, mivel a természetes csapadék hatására nem keletkezett elfolyó víz, nagyadagú öntözést végeztünk a parcellák learatása után. A kijuttatott műtrágya minden kezelésben megemelte a szivárgó víz nitrát-nitrogén tartalmát, azonban az egyes kezelések között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni (5. ábra).



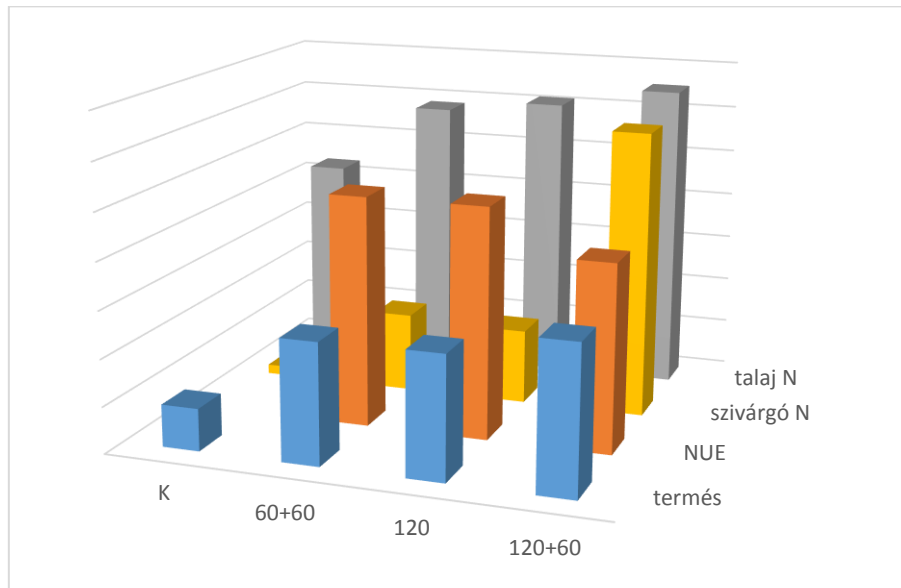
5. ábra A szivárgó víz nitrát-nitrogén tartalma nagyadagú öntözés hatására

A 2. szarvasi kísérleti évben – a konzorciumi tagokkal egyeztetve – négy új fajtát állítottunk kísérletbe. Ezek a Bánkúti 1201, a Bardotka, a Gk Futár és az Mv Süveges fajták voltak. A kísérlet beállítása, a kezelések és az ismétlések száma megegyezett az 1. kísérletben ismertetettekkel, továbbá ebben az évben is ugyanazokat a paramétereket rögzítettük. A Bánkúti 1201-et (rég Magyar fajta), melynek paraméterei elmaradnak a modern fajtánkétól, kontrasztként tettük be a kísérletbe, ezért az összehasonlító analíziseket e fajta paraméterei nélkül is elvégeztük. A két év termésátlagát és NUE értékeit mutatja a 6. ábra. A termésátlagok igazolják a N műtrágyázás hatását, és azt is, hogy a megosztott (60+60) kezelés hatékonyabb az egyszeri (120) N kijuttatásánál (nagyobb termés és jobb NUE), továbbá az is kiderült, hogy az ennél nagyobb (120+60) dózis alig okoz termésnövekedést, míg a NUE egyértelműen csökken.



6. ábra A két év termésátlagainak és NUE értékeinek összehasonlítása

A liziméterek alkalmazása lehetővé teszi, hogy a termésmennyiség és NUE értékek mellett a növények számára nem hasznosuló és a környezetet szennyező talajvízbe elszivárgó N formák mennyiségét is meghatározzuk. Egy ilyen analízist mutat be a második év alapján a 7. ábra.



7. ábra A liziméterekben mért különböző paraméterek összehasonlítása

Az e munkát összefoglaló 7. ábra egyértelműen mutatja, hogy a megosztott műtrágya azonos mértékű össz-talaj (minden talajréteg összesítése – szürke oszlopok) és kimosható (sárga) N szennyezést okoz, mint a nem-megosztott, ám azt is, hogy a feleslegesen adott N, azaz a 120+60 kg/ha alig eredményez terméstöbbletet - a kevésbé hatékony nitrogénhasznosítás mellett -, ám sokkal több, a talajban visszamaradó, kimosható (sárga oszlop), a környezetet jelentősen szennyező N-t hagy hátra.

## *Közlemények*

A benyújtott és szerződött pályázatban „Eredmények bemutatása konferenciákon. Kézirat készítése.” volt a publikációs vállalás. A pályázat futamideje alatt egy impakt faktoros publikáció azonban megjelent (egy résztémából). A pályázat fő tematikája egy hároméves szántóföldi kísérletsorozaton alapul. A termés betakarítása után történt a fenotípusos adatok jelentős részének mérése, meghatározása, melyeken az analíziseink alapulnak. A pályázat első három évében csupán részeredmények álltak rendelkezésünkre. Ezeket a részeredményeket igyekeztünk hazai és nemzetközi konferenciákon bemutatni, de az adatok teljes feldolgozása, majd azok komplex analízise csak a negyedik, de főként az ötödik (hosszabbított) évben történt, történhetett meg — a részeredmények nem voltak kellően fajsúlyosak folyóiratban való közlésre. Ez a fő oka annak, hogy a kutatás legfontosabb témájából készült kézirat a pályázat futamidejében nem került publikálásra. A cikkírás befejezését nem segítette a kvantitatív genetikus munkatársunk zárás előtti kilépése sem. A kéziratot elkészítettük, azt mindenképpen megjelentetjük 2017-ben, annál is inkább, mert ez a kutatás képezi Monostori István (pályázati résztvevő) PhD témáját is.

### *Megjelent közlemény:*

Monostori I, Árendás T, Hoffman B, Galiba G, Gierczik K, Szira F, Vágújfalvi A (2016): Relationship between SPAD value and grain yield can be affected by cultivar, environment and soil nitrogen content in wheat. *Euphytica* **211**: 103–112. IF<sub>2015</sub>: 1,628

<http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-016-1741-z>

Open Access:

<http://real.mtak.hu/id/eprint/40365>

### *Még meg nem jelent, de 2107-ben megjelenő kéziratok:*

Monostori I, Szira F, Tondelli A, Árendás T, Gierczik K, Cattivelli L, Galiba G, Vágújfalvi A: Genome-wide association study and genetic diversity analysis on nitrogen use efficiency in a Central European winter wheat collection. *PLOS ONE* IF<sub>2015</sub>: 3,057

A kézirat kész, formai nyelvi ellenőrzés van hátra.

A Pannon Egyetem, Georgikon Karán, Keszthely elvégzett kísérletek eredményeiből eddig két konferencia közlemény jelent meg, mivel az első mérési adataink 2015-ben keletkeztek. A 2015 évi eredmények értékelése megtörtént, a szakfolyóiratba szánt cikk megírása folyamatban van. Az eredményeket 2017-ben, egy IF 1,0-1,5 folyóiratban kívánjuk megjelentetni.