

Crop
Production



NÖVÉNYTERMELÉS

63. kötet | 3. szám | 2014. szeptember

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



A vetésváltás hatása az őszi búza termésére a talaj vízháztartásának függvényében

Bm (brown midrib) kukorica (Zea mays L.) vonalak, hibridjeik és analógjaik fenometriai összehasonlítása

A kálium, bór és a stroncium hatása az őszi árpára

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

A Nemzeti Agrárszaktanácsadási, Képzési és Vidékfejlesztési Intézet kiadásában, a Földművelésügyi Minisztérium támogatásával megjelenő folyóirat a növénytermesztés, növénynemesítés, növénygenetika, növényélettan, agrobotanika területén magyar és külföldi szerzők által írt, angol és orosz nyelvű összefoglalókkal ellátott tudományos közleményeket, vitacikkeket, szemlét, könyvismertetést közöl.

A folyóirat szakmai támogatója az MTA Agrártudományok Osztályának Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Bizottsága

Megjelenés egy kötet négy füzetben.

A Növénytermelést a SCOPUS és a Google Scholar indexeli.

Szerkesztőség:

DEBRECENI EGYETEM
Agrártudományi Központ
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.
4015 Debrecen, Pf. 36.
Telefon: (06 52) 508-310
Fax: (06 52) 508-460
E-mail: novenytermeles@agr.unideb.hu
szelesne@agr.unideb.hu

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:

NAKVI
Kiadói és Dokumentációs Osztály
1223 Budapest, Park u. 2.
Telefon: (06 1) 362-8100
Fax: (06 1) 362-8104
E-mail: info@agrarlapok.hu
www.agrarlapok.hu
www.nakvi.hu

A kiadásért felelős Dr. Mezőszentgyörgyi Dávid,
a Nemzeti Agrárszaktanácsadási, Képzési és Vidékfejlesztési Intézet főigazgatója.

ISSN 0546-8191
Növényterm 63 (2014) 3
Printed in Hungary

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

63. kötet, 3. szám, 2014. szeptember

Főszerkesztő/Editor-in-Chief:

JÁNOS NAGY

Szerkesztőbizottság/Editorial Board:

Z. BERZSENYI, M. BIRKÁS, L. BLASKÓ, CS. GYURICZA, K. INUBUSHI,
Z. IZSÁKI, M. JOLÁNKAI, T. KISMÁNYOKY, É. LEHOCZKY,
N. A. MAKARENKO, D. MEZŐSZENTGYÖRGYI, J. NAGY, P. PEPÓ, R. SCHMIDT

FÖLDMŰVELÉSÜGYI MINISZTERIUM

A kiadásért felelős a Nemzeti Agrárszaktanácsadási, Képzési és Vidékfejlesztési Intézet főigazgatója

A nyomást és kötést a D-Plus Nyomda Kft. végezte

Felelős szerkesztő: Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Dr. Csajbók József

Megjelent: 8 (A/5) iv terjedelemben

ISSN 0546-8191

TARTALOM

<i>Dóka Lajos Fülöp</i> : A vetésváltás hatása az őszi búza termésére a talaj vízháztartásának függvényében	5
<i>Erdei Éva-Kovácsné Oskolás Henriett-Gyulavári Oszkár-Pepó Pál</i> : Bm (brown midrib) kukorica (<i>Zea mays</i> L.) vonalak, hibridjeik és analógjaik fenometriai összehasonlítása	21
<i>Kádár Imre</i> : A kálium, bór és a stroncium hatása az őszi árpára	43
<i>Nagy Éva-Pauk János</i> : A 'Plainsman V./Cappelle Desprez' őszi búza szárazságtűrési DH térképezési populáció fenológiai vizsgálata és méretének szűkítése	57
<i>Pepó Péter-Csajbók József</i> : Az agrotechnikai elemek szerepe az őszi búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) termesztésében	73

SZEMLE

<i>Horváth Csaba</i> : A búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) tartalékfehérjéi, az ezek minőségét és mennyiségét befolyásoló ökológiai hatások, különös tekintettel a nitrogén tápanyag-ellátásra	95
--	----

CONTENTS

<i>L. F. Dóka</i> : The impact of crop rotation on winter wheat yield depending on the water balance of the soil	5
<i>É. Erdei-H. Kovácsné Oskolás-O. Gyulavári-Pál Pepó</i> : Phenometric comparison of the lines, hybrids and analogues of bm (brown midrib) maize (<i>Zea mays</i> L.)	21
<i>I. Kádár</i> : The impact of potassium, boron and strontium on winter barley	43
<i>É. Nagy-J. Pauk</i> : The 'Plainsman V./Cappelle Desprez' DH winter wheat drought tolerance mapping population phenological testing and size reduction ...	57
<i>P. Pepó-J. Csajbók</i> : The role of agrotechnical elements in the production of winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	73

REVIEW

<i>Cs. Horváth</i> : The reserve proteins of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) and the ecological impacts on their quality and quantity, with special regard to nitrogen supply	95
--	----

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Л. Ф. Дока</i> : Влияние севомена на урожай озимой пшеницы в зависимости от влагооборота почвы	5
<i>Э. Эрдеи–Х. Ковачне Ошколаш–О. Дьюлавари–Пал Пено</i> : Фенометрическое сравнение линий, гибридов и аналогов Вm (brown midrib) кукурузы (<i>Zea mays</i> L.)	21
<i>И. Кадар</i> : Влияние калия, бора и стронция на озимый ячмень	43
<i>Е. Надь–Я. Паук</i> : Фенологическое исследование засухоустойчивости картированной популяции ДН озимой пшеницы 'Plainsman V./Cappelle Desprez' и сужение её размеров	57
<i>П. Пено–Я. Чаубок</i> : Роль агротехнических элементов в выращивании озимой пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.)	73

ОБЗОР

<i>Ч. Хорват</i> : Запасные белки пшеницы (<i>Triticum aestivum</i> L.), и влияющие на их качество и количество экологические воздействия, особенно учитываемая обеспеченность питательным веществом азота	95
---	----

A vetésváltás hatása az őszi búza termésére a talaj vízháztartásának függvényében

DÓKA LAJOS FÜLÖP

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A vizsgálatokat 1983-ban beállított polifaktoriális tartamkísérletben végeztem, bi- (kukorica-búza) és trikultúrás (kukorica-borsó-búza) vetésváltási rendszerekben, két évben (2012 és 2013). Tesztnövény az őszi búza volt.

A két vetésváltási rendszer közül a trikultúrás vetésváltásban számítottunk kisebb talajnedvesség térfogatszázalékos értékeket. A bi- és trikultúrás vetésváltási rendszerekben számított vízhiányértékek is a borsó után vetett búza nagyobb vízfelhasználását bizonyítják. A vetés előtti vízhiányértékek pedig az elővetemények talaj vízháztartására gyakorolt eltérő hatását igazolják. A borsó elővetemény után visszamaradt talajnedvesség – még száraz nyár ellenére is – szignifikánsan több (a vízhiány 2012-ben 31,8 mm-rel, 2013-ban 42,3 mm-rel nagyobb bikultúrában), mint kukoricatarlóban.

Vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a csernozjom talaj vízkészletét a vetésváltás nagymértékben befolyásolja.

A vízhiányértékek, valamint a terméseredmények alapján megállapítható, hogy a 2013. tenyészév vízellátás szempontjából kedvezőbb volt az őszi búza termésképzési folyamatai szempontjából. A trikultúrában előveteményként szereplő borsó kedvező hatást gyakorol a talaj tápanyagforgalmára.

Kulcsszavak: tartamkísérlet, őszi búza, vetésváltás, talajnedvesség, vízhiány, termés

The impact of crop rotation on winter wheat yield depending on the water balance of the soil

L. F. DÓKA

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute for Crop Sciences, Debrecen

Summary

The examinations were carried out in a multifactorial long-term experiment established in 1983 in biculture (maize–wheat) and triculture (maize–pea–wheat) crop rotation systems in two years (2012 and 2013). The test plant was winter wheat.

Of the two crop rotation systems, lower soil moisture volumetric percentage values were calculated in triculture crop rotation. The water shortage values calculated in bi- and triculture crop rotation systems also show the higher water utilisation of wheat sown after pea. At the same time, water shortage values before sowing show that previous crops have different impact on the water balance of the soil. The soil moisture left behind after pea as previous crop is significantly more (water shortage was 31.8 mm more in 2012 and 42.3 mm more in 2013 in biculture) than in a maize stubble-field, even despite the dry summer.

Based on our examinations, it was established that the water stock of the chernozem soil was greatly affected by crop rotation.

Based on water shortage values and yields, it can be concluded that 2013 was a more favourable year from the aspect of water supply in view of the yield formation processes of winter wheat. Pea – which was a previous crop in triculture – had a favourable impact on the nutrient cycle of the soil.

Key words: long-term experiment, winter wheat, crop rotation, soil moisture, water shortage, yield

Влияние севомена на урожай озимой пшеницы в зависимости от влагооборота почвы

Л. Ф. ДОКА

Дебреценский Университет, Факультет Сельского хозяйства, Науке о Питании и Экохозяйства, Институт Биологии, Дебрецен

Резюме

Исследования проводились в установленном мной в 1983 году полифакторном продолжительном опыте, в двух- (кукуруза–пшеница) и трёхкультурной (кукуруза–горох–пшеница) системах севомена, в двух годах (2012 и 2013). Тест-растением была озимая пшеница.

Среди двух систем севомена в трёхкультурном севомене подсчитали меньшие показатели процентного объёма влажности почвы. В двух- и трёхкультурных севоменных системах вычисленные показатели недостатка воды также подтверждают большее водопользование посеянной после гороха пшеницы. А показатели дефицита воды до посева подтверждают различное влияние, оказанное предшественниками на влагооборот почвы. Оставшаяся после гороха- предшественника влажность почвы – даже несмотря на сухое лето – значительно больше (дефицит воды в 2012 году на 31,8 мм, в 2013 на 42,3 мм больше был в двукультуре), чем в жнивье кукурузы.

На основании наших исследований установили, что севомен в большей степени влияет на запас воды чернозёмной почвы.

На основании показателей дефицита воды и результатов урожая можно утверждать, что 2013 вегетационный год с точки зрения водообеспечения был более благоприятным с точки зрения процессов формирования урожая озимой пшеницы. Участвующий предшественником в трикультуре горох оказывает благоприятное влияние на оборот питательных веществ почвы.

Ключевые слова: продолжительный опыт, озимая пшеница, севомен, влажность почвы, дефицит воды, урожай

Bevezetés

A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni. Az alkalmazkodás elsősorban a vízzel való hatékonyabb gazdálkodásra kényszerít (*Jolánkai és Birkás 2009*). A talaj vízraktározó képességének döntő jelentősége van az agroökoszisztémák zavartalan működése, megfelelő vízellátása szempontjából, hiszen a növények (pl. az őszi kultúrák) tavaszi „vízhiányát” az őszi-téli csapadékkal feltöltött és a talajban tárolt vízkészletekből lehet csak zavartalanul kielégíteni (*Farkas et al. 2004, Várallyay 2005*). *Kátai (2006)* vizsgálatai szerint megfelelő vízellátás esetén nő a talajok mikrobiális élete, enzimaktivitásuk, javul szén forgalmuk is. Mezőgazdasági vízgazdálkodásunk eredményessége csak a vízfelhasználás határfokának növelésével képzelhető el, amelynek alapvető eleme a talaj vízháztartásának, nedvességforgalmának hatékony szabályozása (*Várallyay 1999, Várallyay és Németh 1999*).

Az őszi búza egyike a legfontosabb termesztett növényeknek a világon. Termésképzése az eltérő évjáratokban jelentős különbségeket mutat, főként a szélsőséges körülményekre, a túlzott csapadéokra, vagy az aszályra érzékenyen reagál. Nagy termések kialakulása abban az esetben biztosított, ha a klimatikus feltételek (elsősorban a vízellátottság) optimális mértékben illeszkednek a növényállomány által támasztott igényekhez. A vízhiány jelentősen befolyásolja a termést, főként a generatív fázisban. A kora tavaszi szárazság okozta stressz következményeként a kalászkok száma nem csökken, de a szemtermés mennyisége kisebb lesz (*Szász 1973, Pepó 2002, Harsh és Deepti 2006, Kirkpatrick et al. 2006, Ibrahim et al. 2012, Kassai et al. 2012, Szécsényi et al. 2013*). *Zhang et al. (2007)* kísérleti eredményei alapján a különböző fenofázisokban történő egyszeri öntözés is hatással van a termésre, a termésképző elemekre, a vízhasznosításra, valamint a levélterület indexre. Amikor a talajnedvesség csökkenni kezd, a növényeknek nagyobb energiát kell fordítani a vízfelvételre. A transzspiráció intenzitása nem csökken addig, amíg a talaj felvehető vízkészletének 50%-a rendelkezésre áll. Magyarországon a búza a tenyészidőszak alatt 400 mm vizet vesz fel. A szárbainduláskori, valamint a szemtelítődéskor bekövetkező vízhiány jelentős terméscsökkenést okoz (*Klupács et al. 2010, Varga és Veisz 2013*).

Anyag és módszer

A vizsgálatokat 1983-ban beállított polifaktoriális tartamkísérletben végeztük 2012. és 2013. évben a Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézetének Látóképi Kísérleti Telepén. A kísérlet talaja jó vízbefogadó és víztartó képességű mészlepedékes csernozjom. A parcellák területe 41,1 m² volt.

A kísérletben N₁₀₀+PK tápanyagszinttel, két öntözési kezeléssel (nem öntözött, öntözött), két vetésváltási rendszerben (bi- és trikultúra) dolgoztunk. Bikultúrában kukorica-őszi búza, míg trikultúrában kukorica-borsó-őszi búza növények váltják egymást. Az őszi búzafajta a GK Csillag volt. A talajművelés, a növényvédelem és a betakarítás egységesen történt. Az öntözések mindkét vetésváltási rendszerben kukorica előveteményben történtek.

A 30 éves tartamkísérletben vizsgáltuk a csernozjom talaj vízháztartásának alakulását.

A vízforgalom vizsgálatára 4 alkalommal vettünk talajmintát 200 cm-ig 20 cm-es rétegenként, négy ismétlésből, így összesen 1280 minta került feldolgozásra. Az első mintavétel a vetés előtt, míg a negyedik az őszi búza betakarítása után, tarlóból történt, a közbülső kettő pedig az őszi búza főbb fenofázisaiban (szárba indulás, kalászás-virágzás) került vételezésre.

A vizsgált két tenyészévben (2011/2012, 2012/2013) (1. táblázat) a lehullott csapadék mennyisége az őszi búza vízigényét kielégítette, viszont a csapadék eloszlása nagyon eltérő volt. A szeptemberi - vetés előtti - értékek 2011-ben 31,8 mm-rel, 2012-ben 34,5 mm-rel maradtak el a 30 éves átlagtól, a vetőmag október elején száraz talajba került. A búza csírázásához, kezdeti fejlődéséhez 2011/2012 tenyészidőszakban rendkívül kevés víz állt rendelkezésre. A decemberben lehullott 71,1 mm csapadék szüntette meg a száraz körülményeket. A téli hónapokban (december, január, február) lehullott csapadék mennyisége 116,9 mm volt. A 2012 év első negyedévében összesen 47,2 mm csapadék hullott, szemben a 30 éves átlag 100,7 mm értékével. A búza tenyészidőszakbeli csapadékmennyiségének 60%-át (228,9 mm) május, június és július hónapokban kapta, így a termésképzési folyamatok (kalászás, virágzás, megtermékenyülés, szemtelítődés) vízellátása biztosított volt.

A 2012/2013 tenyészév csapadék szempontjából kiegyenlítettebb volt. A vetést megelőző időszak szárazságát a decemberben hulló, a 30 éves átlagtól 22,3 mm-rel több csapadék enyhítette. A tenyészidőszak téli hónapjaiban (december, január, február) összesen 157,4 mm csapadék hullott.

1. táblázat. A 2011/2012 és 2012/2013 évek főbb időjárási paramétereit
(Debrecen-Látókép)

Hónapok (1)	2011/2012		2012/2013		30 éves átlag (4)	
	Csap. (mm)	Hóm. (°C)	Csap. (mm)	Hóm. (°C)	Csap. (mm)	Hóm. (°C)
	(2)	(3)	(2)	(3)	(2)	(3)
Augusztus (5)	42,7	21,4	4,1	22,5	60,7	19,6
Szeptember (6)	6,2	18,0	3,5	18,5	38,0	15,8
Október (7)	18,1	8,6	22,4	11,1	30,8	10,3
November (8)	0,0	0,6	16,6	7,2	45,2	4,5
December (9)	71,1	1,5	65,8	-1,2	43,5	-0,2
Január (10)	28,0	-0,6	38,7	-1,0	37,0	-2,6
Február (11)	17,8	-5,7	52,9	2,3	30,2	0,2
Március (12)	1,4	6,3	136,3	2,9	33,5	5,0
Április (13)	20,7	11,7	48,0	12,0	42,4	10,7
Május (14)	71,9	16,4	68,7	16,6	58,8	15,8
Június (15)	91,7	20,9	30,8	19,6	79,5	18,7
Július (16)	65,3	23,3	15,6	21,2	65,7	20,3
Csapadék a tenyészidőszakban összesen	386,0	-	495,8	-	466,6	-
(október-július) (mm) (17)						
Átlaghőmérséklet a tenyészidőszakban	-	8,3	-	9,1	-	8,3
(október-július) (°C) (18)						

Table 1. Main weather parameters in 2011/2012 and 2012/2013 (Debrecen-Látókép). (1) Months, (2) Precipitation (mm), (3) Temperature (°C), (4) 30-year-average, (5) August, (6) September, (7) October, (8) November, (9) December, (10) January, (11) February, (12) March, (13) April, (14) May, (15) June, (16) July, (17) Total precipitation during the growing season (October–July) (mm), (18) Mean temperature in the growing season (October–July) (°C)

A 2013 év – az előző tenyészévtől eltérően – egészen betakarításig csapadékos volt (januártól júliusig összesen 391 mm). Kora tavasszal, márciusban a 30 éves átlagérték négyszerese volt a természetes csapadék.

A hőmérsékleti átlagértékeket elemezve megállapítható, hogy mindkét tenyészév melegebb volt az előző 30 év átlagától. Kivételt képez 2011/2012 tenyész-

időszakban november, február, amikor átlagosan 3,9 °C-kal, valamint 5,5 °C-kal volt hidegebb, míg a 2012/2013 tenyészidőszakban december és március, átlagosan 1 °C-kal, valamint 2,1 °C-kal volt hidegebb.

Eredmények

Összehasonlítottuk a két vetésváltási rendszerben a talaj vízkészletének alakulását a talajszelvényben 200 cm mélységig, a 2011/2012 és 2012/2013 tenyészévben (1–2. ábra). Az ábrák a négy mintavételi időpont talajnedvességét mutatják térfogatszázalékban, bi- és trikultúrában és N₁₀₀+PK trágyakezelés mellett. A vetésváltás talaj vízháztartására gyakorolt hatásának vizsgálatát végeztük, így az eredményeket az öntözési kezelések (kukorica elővetemény volt öntözve) átlagában elemeztem.

A 2011/2012 tenyészév kezdetén, közvetlenül a vetés előtt, a talaj nedvességkészlete a talaj felső 100 cm rétegében 20–28 tf% között alakult (1. ábra). A kukorica előveteménynek köszönhetően a talaj 100–140 cm rétegében az előző értékektől 8–10 tf%-kal kisebb értékeket mértünk. A talaj ebben a zónában száraz volt, a növények gyökerei számára hasznosítható vízkészlet nem volt mérhető. 2012 áprilisára a talaj nedvességkészlete gyarapodott, 3–5 tf%-kal volt kisebb, mint a szabadföldi vízkapacitás értékek. Méréseink alapján a felső 40 cm talajréteg nedvességkészlete az őszi búza zöldtömegének gyarapodásához szükséges vízfogyasztása következtében 16–22 tf% közötti volt. A tavaszi, nyár eleji hónapok nagy mennyiségű csapadék ellenére a vízkészlet tovább csökkent, kielégítve a szárbaindulás–kalászolás–virágzás–szemtelítődés fenológiai szakaszok nagy vízigényét. A betakarítás idejére a felső 100 cm zónában a görbék a holtvíz értékeket érték, 13–15 tf% nedvességértékeket mértünk.

Kísérleti eredményeink alapján a 2012/2013 tenyészidőszak kezdetén (2. ábra) a talajnedvesség értékek 14–21 tf% között alakultak. Az őszi szárazságot a télen lehulló 157,4 mm csapadék csak részben enyhítette, a talajnedvesség a 0–140 cm rétegben 2–6 tf%-kal gyarapodott. A márciusi–április–május hónapok 253 mm csapadéka az őszi búza fejlődéséhez kedvező vízellátottsági körülményeket biztosított. A növekvő fitotömeg, valamint a generatív fenofázis növekvő vízigénye a talajnedvességet viszont csökkentette, a júniusi mintavételezések alkalmával a 0–120 cm rétegben fentről lefelé haladva egyre kisebb térfogatszázalékos nedvességértékeket mértünk.

1. ábra. Bi- és trikultúrás vetésváltású őszi búza állományban a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen-Látókép, csernozjom talaj, 2011/2012)

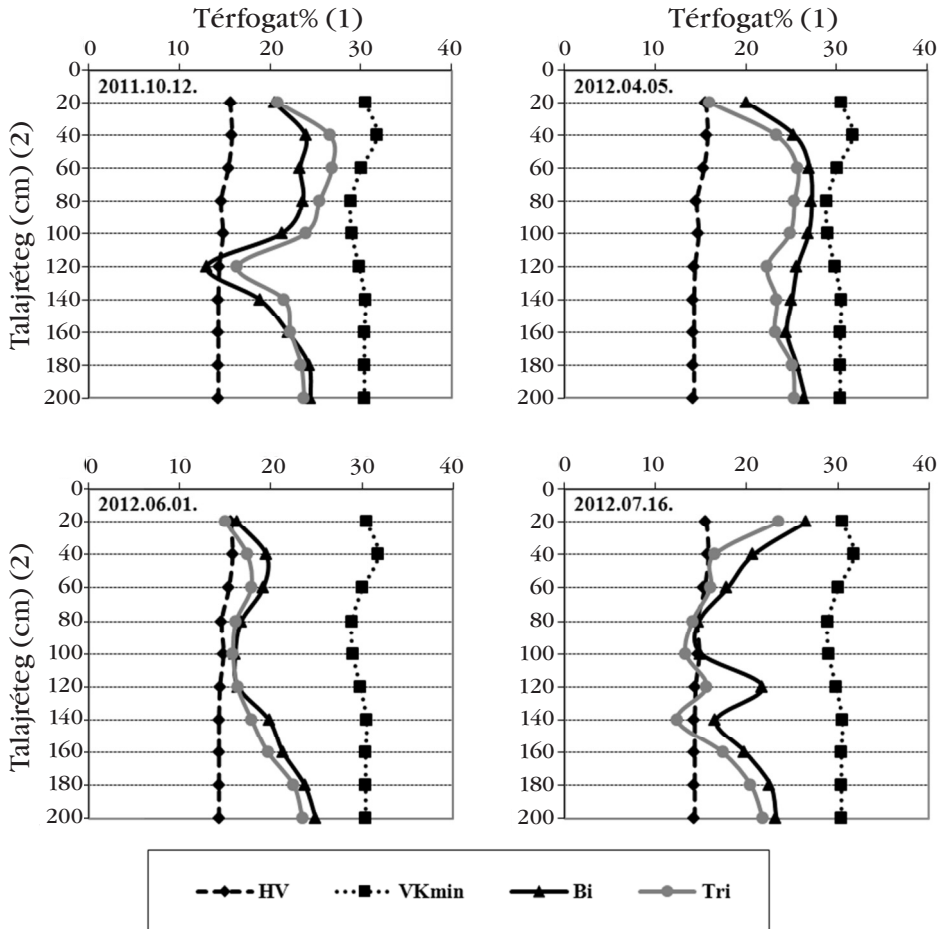


Figure 1. Soil moisture in winter wheat populations in bi- and triculture (Debrecen-Látókép, chernozem soil, 2011/2012). (1) Volumetric %, (2) Soil layer (cm)

2. ábra. Bi- és trikulturás vetésváltású őszi búza állományban a talaj nedvességtartalmának alakulása (Debrecen-Látókép, csernozjom talaj, 2012/2013)

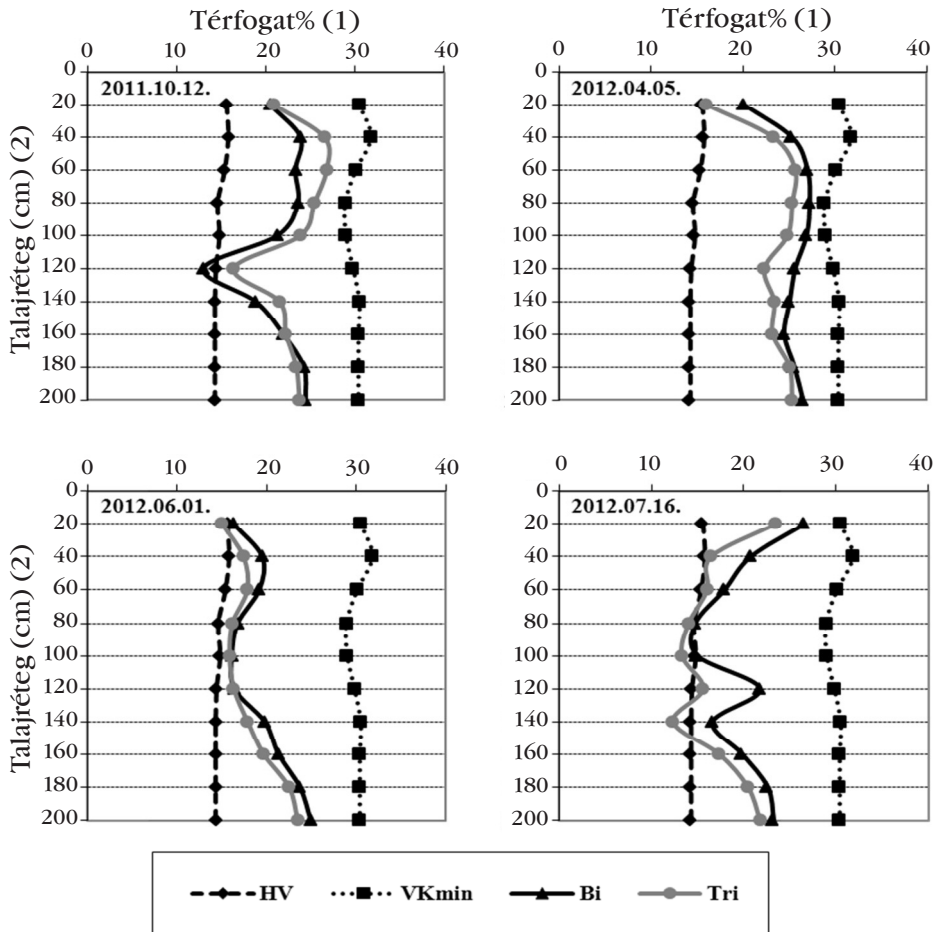


Figure 2. Soil moisture in winter wheat populations in bi- and triculture (Debrecen-Látókép, chernozem soil, 2012/2013). (1) Volumetric %, (2) Soil layer (cm)

Az eredmények alapján a „mélypont” a 80–100 cm-es rétegben volt, ahol a holtvíztartalomig (16 tf%) csökkent a talajnedvesség. A betakarítás idejére kevesebb csapadék (júniusban 30,8 mm, júliusban 15,6 mm), a növekvő hőmérséklet, valamint az érési folyamatok vízigényének hatására a búza teljes gyökerezési zónájában (0–120 cm) 13–17 tf% értékre csökkent a talajnedvesség.

Ha a két tenyészév mérési eredményeit együttesen vizsgáljuk, megállapíthatjuk, hogy az őszi búza a 0–120 cm talajréteg vízforgalmára van hatással. Ezen a mélységtartományon belül is főként a 40–100 cm talajréteg vízvesztése volt a legintenzívebb és a legszembetűnőbb. Ennek alapján a búza gyökereinek legnagyobb része ebben a rétegben (40–100 cm) helyezkedik el. A felső 0–40 cm talajréteg nedvességforgalmára legnagyobb hatással az időjárás, azon belül is a csapadék és a hőmérséklet van. Az térfogatszázalékos értékek változása a tenyészidőszak folyamán itt volt a legdinamikusabb.

Az ábrák alapján az elővetemény vízforgalmat befolyásoló hatása is bebizonyosodik. Mindkét tenyészév kezdetén a trikultúrás vetésváltás talajában volt nagyobb mennyiségű víz kimutatható (2012-ben a 0–160 cm, 2013-ban a 80–200 cm talajrétegben). Bikultúrás vetésváltásban a búzát megelőző kukorica elővetemény vízfelhasználásából adódóan a 0–140 cm talajrétegben a holtvíztartalmat (16 tf%) megközelítették a görbék. Ezzel szemben trikultúrás vetésváltásban a borsó előzi meg az őszi búzát mint elővetemény, melynek sem vízfogyasztása, sem gyökerezési mélysége (maximum 60–100 cm) nem egyezik a kukoricáéval. Korán lekerül, a talaj vízkészletét nem meríti ki (Sárvári 2005). Ez főként 2013-ban mutatkozik meg, amikor a talaj felső, 0–80 cm rétege volt száraz, közvetlenül a vetést megelőző időszakban.

A tenyészidőszak folyamán viszont ez a jelenség ellenkezőjére fordult, a trikultúrában termesztett őszi búza talajában állapítottunk meg kisebb térfogatszázalékos értékeket a teljes tenyészidőszak folyamán. A borsó – hüvelyes növény lévén – a búza egyik legjobb előveteménye (Jolánkai és Szabó 2005), nitrogénmegkötő baktériumai által N-ben gazdagítja a talajt (Sárvári 2005). A kedvező tápanyagellátás hatására a növények vízfogyasztása is növekszik, így a trikultúrában – hüvelyes után – termesztett búza jobban kiszárítja a talajt, mint a bikultúrában kukorica után vetett.

Összehasonlítottuk a 2011/2012 és 2012/2013 évi vízhiányértékeket (3–4. ábra), és összevetettük a terméseredményekkel. 2012 októberében a talaj vízhiányértékei jóval kisebbek (71,9–82,4 mm) voltak a következő éves értékek-nél mindkét vetésváltásban, mely a nyárvégi csapadékkal magyarázható.

3. ábra. Az őszi búza termése, valamint a talaj vízhiányának dinamikai változása bi- és trikultúrában (Debrecen-Látókép, csernozjom talaj, 2011/2012)

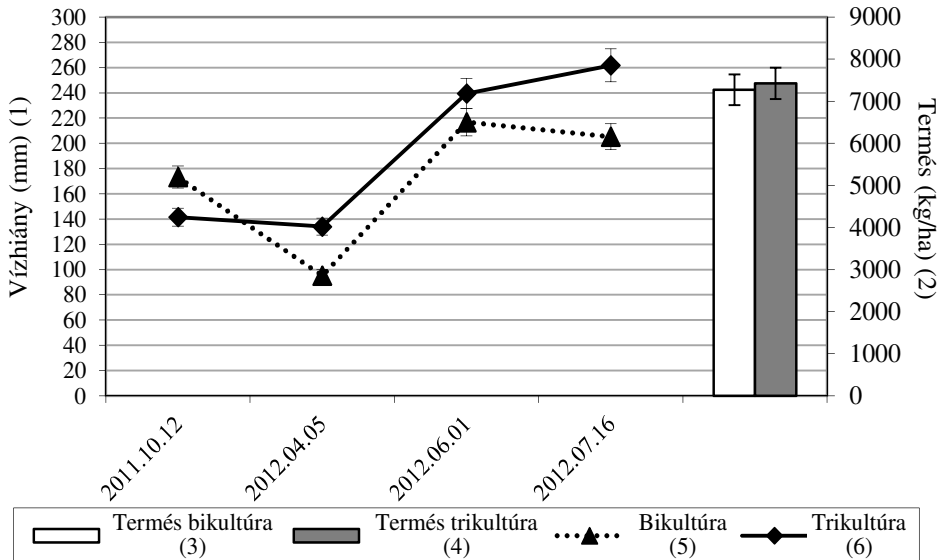


Figure 3. Winter wheat yield and the dynamic change of the water shortage of soil in bi- and triculture (Debrecen-Látókép, chernozem soil, 2011/2012). (1) Water shortage (mm), (2) Yield (kg ha⁻¹), (3) Yield in biculture, (4) Yield in triculture, (5) Biculture, (6) Triculture

2013-ban mind az augusztus, mind a szeptember száraz volt, ezt támasztják alá mindkét vetésváltás talajának vízhiányértékei (bikultúrában 255,7 mm, trikultúrában 213,4 mm). A téli csapadék „nedvességfeltöltő” hatásának eredményeként az áprilisban mért vízhiányértékek csökkentek mindkét évben, mindkét vetésváltás talajában (2012-ben 78,2–7,4 mm-rel, 2013-ban 113,7–46,8 mm-rel bi- és trikultúrában). 2012-ben – a májusi és júniusi eső ellenére – a búzaállomány növekvő vízfelhasználásának következtében, valamint az átlaghőmérséklet emelkedésével a talaj vízhiánya újra 200 mm fölött alakult és ez a tendencia megmaradt, szignifikánsan nem csökkentek, sőt trikultúra esetében 22,4 mm-rel növekedtek is az értékek a tenyészidőszak végéig (2. táblázat).

4. ábra. Az őszi búza termése, valamint a talaj vízhiányának dinamikai változása bi- és trikultúrában
(Debrecen-Látókép, csernozjom talaj, 2012/2013)

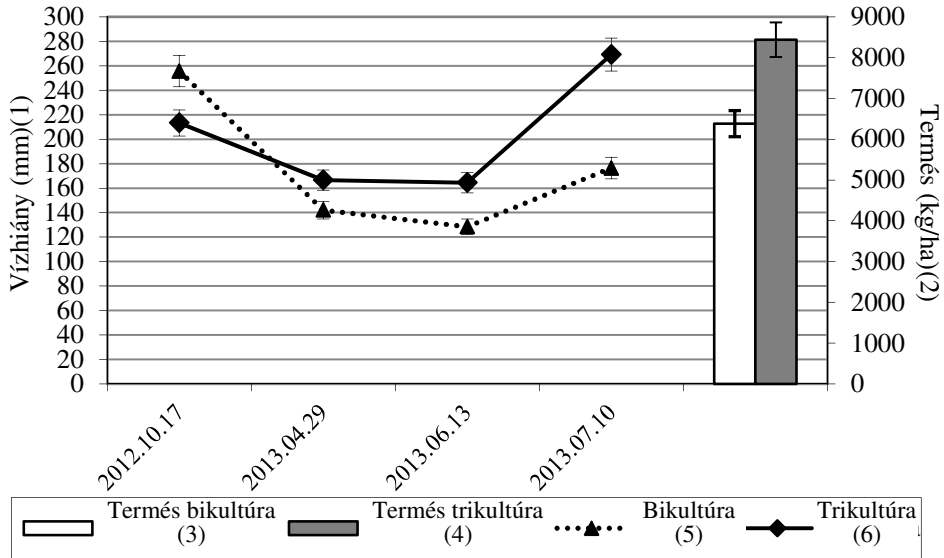


Figure 4. Winter wheat yield and the dynamic change of the water shortage of soil in bi- and triculture (Debrecen-Látókép, chernozem soil, 2012/2013). (1) Water shortage (mm), (2) Yield (kg ha⁻¹), (3) Yield in biculture, (4) Yield in triculture, (5) Biculture, (6) Triculture

2. táblázat. A 2011/2012 és 2012/2013 évi vízhiány és terméseredményekhez tartozó varianciatáblázat

SzD _{5%} vetésváltás (1)	2011/2012			
	2011. 10. 12.	2012. 04. 05.	2012. 06. 13.	2012. 07. 10.
Vízhiány (mm) (2)	64,7	62,3	67,2	42,9
Termés (kg/ha) (3)	499,2			
SzD _{5%} vetésváltás (1)	2012/2013			
	2012. 10. 17.	2013. 04. 29.	2013. 06. 13.	2013. 07. 10.
Vízhiány (mm) (2)	10,1	22,7	16,3	41,0
Termés (kg/ha) (3)	684,2			

Table 2. Water shortage in 2011/2012 and 2012/2013 and the variance table in accordance with the obtained yields. (1) LSD_{5%} crop rotation, (2) Water shortage (mm), (3) Yield (kg ha⁻¹)

2013-ban viszont az áprilisban mért vízhiányértékek a júniusi mérések alkalmával is hasonlóan alakultak, szignifikáns eltérés nem állapítható meg (bikultúrában áprilisban 142 mm, júniusban 128,5 mm, míg trikultúrában áprilisban 166,6 mm, júniusban 164,5 mm voltak az értékek). Ez a márciusi nagy mennyiségű csapadék kedvező hatását mutatja, mely által kialakult nedvességviszonyok a későbbi hónapok csapadékával kiegészült, így a búzaállomány növekvő vegetatív és generatív fejlődésének vízigénye biztosítva volt. A betakarítás idejére megnövekedett a talaj vízhiánya (bikultúrában 47,9 mm-rel, trikultúrában 104,7 mm-rel) a fokozódó hőség, a júliusi kevés csapadék, valamint a növényállomány érési folyamatainak vízigénye következtében.

Vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a csernozjom talaj vízkészletét a vetésváltás nagymértékben befolyásolja. A két vizsgált tenyészévben a két vetésváltási rendszer közül trikultúrában volt nagyobb a vízhiány az őszi búza teljes tenyészidőszakában, a legnagyobb értékeket itt kaptuk: 2012 áprilisában 39 mm-rel, júniusában 22,6 mm-rel, júliusában 56,6 mm-rel, míg 2013 áprilisában 24,6 mm-rel, júniusában 36 mm-rel, júliusában 92,8 mm-rel nagyobb volt a vízhiány trikultúrás vetésváltásban. A kapott vízhiányértékek is a borsó után vetett búza nagyobb vízfelhasználását bizonyítják, a nagyobb mértékű tápanyagfelvételhez (elővetemény talaj nitrogén tartalmát növelő hatása) több vízre is szüksége van a növénynek. A vetés előtti vízhiányértékek pedig az elővetemények talaj vízháztartására gyakorolt eltérő hatását bizonyítják. A borsó elővetemény után visszamaradt talajnedvesség – még száraz nyár ellenére is – szignifikánsan több (a vízhiány 2012-ben 31,8 mm-rel, 2013-ban 42,3 mm-rel nagyobb bikultúrában), mint kukoricatarlóban. A borsó a kukoricával ellentétben jóval hamarabb betakarításra kerül, és kisebb vízfogyasztással jellemezhető növény, így a vetésváltásban utánuk következő növény számára nagyobb mennyiségű vizet hagynak vissza a talajban.

A vizsgált két évben a búza termésátlagait vizsgálva megállapítható, hogy 2011/2012 évben az őszi búza termésátlaga bikultúrában 7273 kg/ha, trikultúrában 7425 kg/ha. A terméseredmények 152 kg/ha-ral különböztek, szignifikáns eltérés nem állapítható meg a két vetésváltási rendszer terméseredményei között.

2012/2013 tenyészévben bikultúrában 6382 kg/ha, trikultúrában 8441 kg/ha termést takarítottunk be. Jelentős (2059 kg/ha) szignifikáns terméstopplett állapítható meg trikultúrás vetésváltási rendszerben termesztett őszi búza esetében.

A vízhiányértékek, valamint a terméseredmények alapján megállapítható, hogy a 2013 tenyészév vízellátás szempontjából kedvezőbb volt az őszi búza

termésképzési folyamatai szempontjából. A trikultúrában előveteményként szereplő borsó kedvező hatást gyakorol a talaj tápanyagforgalmára. Mivel a talaj nedvességtartalma is lehetővé tette a nagyobb termés képzését, így itt a borsó elővetemény termésnövelő hatása bizonyítható. A talajban rendelkezésre álló tápanyag hasznosulásához az őszi búza igényeinek megfelelő vízmennyiségnek rendelkezésre kell állnia. Ezt bizonyítja az is, ha megvizsgáljuk a két tenyészév terméseredményeit. Ha a kritikus fenofázisokban (szárbaindulás, kalászolás-virágzás) nem áll rendelkezésre elegendő nedvesség a talajban az őszi búza igényeinek megfelelően, – vizsgálati eredményeinket alapul véve – az elővetemény kedvező hatása a terméseredményeket tekintve nem bizonyítható.

Az eredményekből az is megállapítható, hogy mindkét tenyészév esetében a trikultúrás vetésváltás vízhiányértékei voltak a nagyobbak, a növényállomány vízfelvétele intenzívebb volt, ellentétben a bikultúrás őszi búza állománnyal, mely a szárazabb (2011/2012) tenyészévben szignifikáns terméstöbbletben nem jelent meg, az állomány „pazarlóbban” hasznosította a talajban rendelkezésre álló nedvességet. A két vetésváltási rendszer állományszerkezetében nem volt különbség, a trikultúrás rendszerben a borsó elővetemény hatására (víz- és nitrogéntartalom) az őszi búza vízfelvétele módosult.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/1-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt által nyújtott személyi támogatással valósult meg. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.

A kutatáshoz az eszközök és az infrastruktúra támogatásával a DE MÉK Növénytudományi Intézet járult hozzá.

IRODALOM

Farkas Cs. – Tóth E. – Várallyay Gy.: 2004. A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata talajművelési kísérletben. „AGRO-21” Füzetek. Agroökológia. Agroökoszisztémák környezeti összefüggései és szabályozásának lehetőségei. 37: 111.

- Harsh, N.–Deepti, G.: 2006. Differential sensitivity of C3 and C4 plants to water deficit stress: Association with oxidative stress and antioxidants. *Environmental and Experimental Botany*. 58: 106–113.
- Ibrahím, M. M.–Ouda, S. A.–Taha, A.–El Afandi, G.–Eid, S. M.: 2012. Water management for wheat grown in sandy soil under climate change conditions. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 12. 2: 195–210.
- Jolánkai M.–Birkás M.: 2009. Klímaváltozás és növénytermesztés. [In: Harcsa M. (szerk.) *Növénytermesztés: Gazdálkodás – Klímaváltozás – Társadalom.*] V. Növénytermesztési Tudományos Nap. 27–34.
- Jolánkai M.–Szabó M.: 2005. Búza. [In: Antal J. (szerk.) *Növénytermesztéstan 1. A növénytermesztéstan alapjai. Gabonafélék.*] 183–211.
- Kassai M. K.–Nyárai H. F.–Máté A.–Tarnawa Á.–Szentpétery Zs.–Jolánkai M.: 2012. Az évjárat hatása az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésmennyiségére és -minőségére. [In: Lehoczky É. (szerk.) *Talaj – Víz – Növény kapcsolatrendszere a növénytermesztési térben I.*] Talajtani, Vízgazdálkodási és Növénytermesztési Tudományos Nap. Debrecen. 197–204.
- Kátai, J.: 2006. Changes in Soil Characteristics in a Mono- and Triculture Long-term Field Experiment. *Agrochemistry and Soil Science*. 55. 1: 183–192.
- Kirkpatrick, A.–Browning, L.–Bauder, J. W.–Waskom, R.–Neibauer, M.–Cardon, G.: 2006. *Irrigating with Limited Water Supplies: A Practical Guide to Choosing Crops Well-Suited to Limited Irrigation.* Extension Water Quality Program. Bozeman. Montana State University. 15.
- Klupács, H.–Tarnawa, Á.–Balla, I.–Jolánkai, M.: 2010. Impact of water availability on winter wheat (*Triticum aestivum* L.) yield characteristics. *Agrokémia és Talajtan*. 59. 1: 151–156.
- Pepó P.: 2002. A hazai őszi búzatermesztés helyzete és fejlesztési lehetőségei. *Gyakorlati agrofórum*. 13. 9: 2–5.
- Sárvári M.: 2005. Borsó. [In: Antal J. (szerk.) *Növénytermesztéstan 2. Gyökér- és gumós növények. Hüvelyesek. Olaj- és ipari növények. Takarmánynövények.*] 109–134.
- Szász G.: 1973. A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata. *Növénytermelés*. 22. 3: 241–258.
- Szécsényi, M.–Cserhádi, M.–Zvara, Á.–Dudits, D.–Györgyey, J.: 2013. Monitoring of Transcriptional Responses in Roots of Six Wheat Cultivars during Mild Drought Stress. *Cereal Res. Commun.* 41. 4: 527–538.
- Várallyay Gy.–Németh T.: 1999. A környezetkímélő növénytermesztés talajtani-agrokémiai alapjai. [In: Ruzsányi L.–Pepó P. (szerk.) *Növénytermesztés és környezetvédelem. „Magyarország az ezredfordulón” – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián.*] Budapest. 69–75.
- Várallyay Gy.: 1999. A talaj vízgazdálkodásának szabályozása – mint a környezetkímélő növénytermesztés egyik kulcskérdése. [In: Ruzsányi L.–Pepó P. (szerk.) *Növénytermesztés és környezetvédelem. „Magyarország az ezredfordulón” – Stratégiai kutatások a Magyar Tudományos Akadémián.*] Budapest. 56–65.

- Várallyay Gy.:* 2005. A magyar Alföld szélsőséges vízgazdálkodása és az ahhoz történő alkalmazkodás lehetőségei és korlátai. [In: Pepó P. (szerk.) Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: a modern növénytermesztés alapjai.] Tudományos ülés. Debrecen. 43–51.
- Varga B.–Veisz O.:* 2013. A szimulált aszály hatásai az őszi búza produkciójára és vízforgalmára. [In: Janda T. (szerk.) II. ATK Tudományos Nap – Velünk Élő Tudomány.] 85–88.
- Zhang, B. C–Huang, G. B–Feng-Min, L.:* 2007. Effect of Limited Single Irrigation on Yield of Winter Wheat and Spring Maize Relay Intercropping. *Pedosphere*. 17. 4: 529–537.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Dóka Lajos Fülöp
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Bm (brown midrib) kukorica (*Zea mays* L.) vonalak, hibridjeik és analógjaik fenometriai összehasonlítása

¹ERDEI ÉVA - ¹KOVÁCSNÉ OSKOLÁS HENRIETT - ²GYULAVÁRI OSZKÁR -
¹PEPÓ PÁL

¹Debreceni Egyetem Mezőgazdaság- Élelmiszertudományi és
Környezetgazdálkodási Kar, Növénytudományi Intézet, Debrecen,

²Növénynemesítő Állomás, Gabonakutató Nonprofit Kft., Táplánszentkereszt

Összefoglalás

Kétvonalas brown midrib kukorica hibridek ($bm_3 \times bm_3$) és azok izogén változatait (izogén \times izogén) állítottuk elő normál és bm_3 gént tartalmazó beltenyésztett vonalak felhasználásával. A brown midrib kukorica vonalak és azok izogénjeinek, továbbá a felhasználásukkal előállított normál és bm hibridek morfo-fenometriai tulajdonságait elemeztük. A fenotípusos (fenológiai és fenometriai) tulajdonságokat vonalanként és hibridenként írtuk le. A bm_3 kukoricáknál az UPOV CPVO TP/2/2 irányelv szerint 10 tulajdonság került felvételezésre. A tulajdonságokat a kukorica teljes vegetációs periódusában folyamatosan vizsgáltuk és kifejeződési fokozatokkal láttuk el. A felvételezéseket alapul vettük a hibridhatás előrejelzésénél és a heterózis számításánál. Meghatároztuk a heterózis és heterobeltiozis mértékét három bm és három izogén kétvonalas (SC) kukorica-hibridnél a növény- és csőeredési magasság, a csőhossz és csőtömeg esetében. Kétféle heteróvizist számoltunk: átlagos heteróvizist és heterobeltióvizist, ezeken belül abszolút és %-os változatot. A brown midrib és izogén analóg kukorica-hibrideknél az alsó csőeredés magasságára, a csőhosszra és a csőtömegre nézve a pozitív átlagos heterózis és a heterobeltiózis érvényesült. A növénymagasságra nézve pozitív átlagos heterózis érvényesült.

Vizsgálataink arra engednek következtetni, hogy a brown midrib vonalaknál és hibrideknél elsősorban az alternatív hasznosíthatóságból származó előnyöket szükséges mérlegelni a felhasználásuk során.

Kulcsszavak: kukorica (*Zea mays* L.), brown midrib (bm) fenometria, heterózishatás, izogén vonalak

Phenometric comparison of the lines, hybrids and analogues of bm (brown midrib) maize (*Zea mays* L.)

¹É. ERDEI - ¹H. KOVÁCSNÉ OSKOLÁS - ²O. GYULAVÁRI - ¹PÁL PEPÓ

¹University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Crop Sciences, Debrecen

¹Plant Breeding Station, Gabonakutató Nonprofit Kft., Táplánszentkereszt

Summary

Brown midrib single cross (SC) maize hybrids ($bm_3 \times bm_3$) and their isogenic variants (isogenic \times isogenic) were produced by utilisation of traditional and bm_3 inbred lines. In quality breeding, bm genes (coding lower lignin content) are transferred into isogenic maize lines by the back cross method. Morphological and phenotypic characteristics of brown midrib and their isogenic lines and hybrids were analysed. The phenotypic characteristics (phenological and phenometric) were described for lines and hybrids. In the case of the bm_3 maize lines 10 traits were studied according to the UPOV CPVO TP/2/2 guidelines. The characteristics were investigated continuously during the whole vegetation period and classified into manifestation levels. The results were considered for prediction of hybrid effects and during the heterosis calculations. The levels of heterosis and heterobeltiosis were determined for plant height, ear attachment height, ear length and ear weight in the cases of three brown midrib and three isogenic single cross maize hybrids. Two heterosis types were calculated, average heterosis and heterobeltiosis with their absolute and percentage values. In the case of the brown midrib and isogenic maize hybrids positive average heterosis and heterobeltiosis were experienced for ear attachment height, ear length and ear weight.

For the plant height positive average heterosis was found. It was concluded that in the case of brown midrib lines and hybrids, primarily, the advantages of alternative utilisation have to be taken into consideration during their use.

Key words: maize (*Zea mays* L.), brown midrib (bm) phenometrics, heterosis effect, isogenic lines

Фенометрическое сравнение линий, гибридов и аналогов Bm (brown midrib) кукурузы (*Zea mays* L.)

¹Э. ЭРДЕИ – ¹Х. КОВАЧНЕ ОШКОЛАШ – ²О. ДЬЮЛАВАРИ – ¹ПАЛ ПЕПО
¹Дебреценский Университет, Сельскохозяйственный, Продовольственный и
Экохозяйственный Факультет, Институт Ботаники, Дебрецен
²Селекционная Растительная Станция, Исследование Зерна некоммерческое ООО,
Таплансенткерест

Резюме

Мы произвели двухлинейные brown midrib гибриды кукурузы ($bm_3 \times bm_3$) и их изогенные варианты ($izogén \times izogén$) применением нормальных и содержащих ген bm_3 инцухтированных линий. Анализировали морфо-фенометрические свойства линий кукурузы brown midrib и их изогенов, а также изготовленных с их использованием нормальных и bm гибридов. Фенотипические (фенологические и фенометрические) свойства описали по линиям и по гибридам. У кукурузы bm_3 согласно директиве UPOV CPVO TP/2/2 изучали 10 свойств. Эти свойства постоянно исследовали во время всего вегетационного периода и обеспечили их степенями выраженности. Эти собранные данные положили в основу при прогнозировании влияния гибрида и при вычислении гетерозиса. Определили размер гетерозиса и гетеробелтиозиса (heterobeltiozis) у трех bm и трёх изоген двулинейного (SC) гибрида кукурузы в случае высоты растения и места роста початка, длины початка и массы початка. Подсчитали два типа гетерозиса: средний гетерозис и гетеробелтиозис, внутри этого абсолютную и %-ую разновидность. У brown midrib и изоген аналог гибрида кукурузы, принимая во внимание высоту места роста первого початка, длину початка и массу початка проявляется позитивный сред-ний гетеро-

зис и гетеробелтиозис. Учитывая высоту растения проявился позитивный средний гетерозис.

Наши исследования позволяют сделать вывод, что у линий и гибридов brown midrib в первую очередь необходимо измерить преимущества, происходящие из альтернативного использования в ходе их применения.

Ключевые слова: кукуруза (*Zea mays* L.), brown midrib (bm) фенометрия, влияние гетерозиса, изогенные линии

Bevezetés

Brown midrib (*bm*, *bmr*) mutánsokat kukoricában (*Zea mays* L.) cirokban (*Sorghum bicolor* L. Moench) és néger kölesben (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) írtak le. A kukoricában a *bm*-géncsaládot 1931-ben azonosították. A kukoricában identifikált *bm* gének (*bm*₁, *bm*₂, *bm*₃, *bm*₄) spontán mutáció eredményei, recesszíven öröklődnek és természetes ligninhányt hordoznak. A négy természetes mutáns gén közül a *bm*₃ mutációt Emerson (1935) a 4. kromoszómán lokalizálta és Lechtenberg *et al.* (1972) szerint a mutáns gének közül a *bm*₃ génnek volt a leghatékonyabb a lignin redukáló hatása. A lignintartalom redukálása a mutánsok O-methyl transzferáz enzime által érvényesül. Barnes *et al.* (1971), Colenbrander *et al.* (1973), El-Tekrit *et al.* (1976), valamint Bedő és Szilva (1982) alapján a lignintartalom csökkenésével szignifikánsan növekedett a szárazanyag emészthetősége. Az egyes növényi részek emészthetősége a szárnál és a levélhüvelynél volt a legjobb. Gyulavári *et al.* (2006) által elvégzett takarmányozási kísérletek bebizonyították, hogy az alacsonyabb lignintartalom következtében javuló emészthetőségi tulajdonságok hatására növekedett azoknak a tejelő szarvasmarha-állományoknak a tej- és hústermelése, amelyeket brown midrib kukoricából készült szilázssal takarmányoztak. A tejtermelő állományokban egy tonna bm-kukoricából készült takarmány etetésekor 4%-kal növekedett a tejtermelés (Undersander *et al.* 1993). Továbbá a húsmarhák testtömege is növekedett. A könnyű emészthetőséget előidéző *bm*₃ hibridek alacsony lignintartalma kapcsolt a termesztés számára több negatív tulajdonsággal, mint például a csökkent mennyiségű szárhozammal és szemterméssel (Miller *et al.* 1983, Weller *et al.* 1985), valamint a gyengébb szárszilárdsággal (Gallais *et al.* 1980, Keith *et al.* 1981), ezzel

ellentétben *Pintér és Németh* (1981) vizsgálata szerint a kukorica lignintartalma és állóképessége között nincs szoros összefüggés. *Frenchick et al.* (1976) kísérletében a brown midrib hibrideknél szemterméscsökkenést és kevesebb mennyiségű silótermést tapasztaltak, mint a normál izogénjeik esetében.

Hasonló eredményeket tapasztalt *Lee és Brewbacker* (1984), vizsgálataikban a brown midrib hibridek leveles szártermése 17%-kal, a szemtermésük 20%-kal kevesebb volt, mint a normál analógoké. A fent említett eredményeket támasztja alá *Barriere et al.* (1998) termesztési kísérletei, amelyben a *bm₃* hibridek átlagos szemtermése 2,5 t/ha-ral kevesebb volt, mint a normál hibridek átlagos hozama.

Gyulavári et al. (2003) szerint a visszakeresztesés módszere alkalmas lehet a gazdaságilag értékes gének bevitelére a donorszülőből a javításra váró fajtába abból a nemesítési célból, hogy később javuljon a silókukorica-hibridekből készült szilázsok minősége. A BC harmadik-negyedik generációjában a növények vegetatív részeikben a rekurrens szülő típusát vették fel. A donor és a *bm₃* nemzedékek között a növénymagasságban és a tenyészidőben találták a legnagyobb különbséget. Az analógok és a *bm*-nemzedékek hasadási aránya 3:1. A kukoricavonalak közötti szelekciót segíti a levélér barna elszíneződése, amelyet fenotípusos markernek tekintünk a brown midrib mutáns kukorica esetében. A barna pigmentáció összefüggésben van továbbá a lignifikált szövettel, kéreggel és a szállító edénynyalábokkal.

Jelenleg a brown midrib kukoricahibrideket elsősorban az Amerikai Egyesült Államokban termesztik nagy volumenben. Magyarországon a gyakorlatban még nem terjedtek el, mert az átlagtermésük kevesebb, és a szárszilárdságuk az alacsony lignintartalom miatt gyenge. A brown midrib kukoricahibridek a kisebb rosttartalmuk miatt jobb biogáz-kihozatalt eredményezhetnek.

Anyag és módszer

A kukoricanemesítési alapanyagok köre

A Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézet Genetika Tanszékének Bemutatókertjében saját nemesítésű kukoricavonalakból kétvonalas hibrideket állítottunk elő keresztezéssel. A *bm₃* gént tartalmazó kukoricahibridek anyai- és apai vonalait Gyulavári Oszkár kukoricanemesítő bocsátotta rendelkezésünkre (1. táblázat). A debreceni kísérletünkben szereplő vonalakat kódszámokkal láttuk el, mert az eredeti vonalak szabadalmaztatott hibrid vonalai

titkosak. *SzeTC 465 bm₃* kukorica hibridet a Szegedi Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kht. javaslatára állítottuk be a belőlük készített szilázs emészthe-tőségének javítása céljából. Az *SzeTC 465* kukorica hibrid kettős hasznosításra alkalmas, középérésű (FAO 450), háromvonalas hibrid, siló célú felhasználásra, Róna-4 silócirokkal való veyges vetésre alkalmas, kedvező a csóaránya.

1. táblázat. *Kukorica hibridek és szülői partnereik*

Kukorica hibridek (1)	Anyai vonalak (2)	Apai vonalak (3)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	GKD ₃ izo.=GK49 izogén származású vonal	GKD ₁ izo.=GK42 izogén származású vonal
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	GKD ₃ bm ₃ =GK49 bm ₃ származású vonal	GKD ₁ bm ₃ =GK42 bm ₃ származású vonal
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	GKD ₁ bm ₃ =GK42 bm ₃ származású vonal	GKD ₂ bm ₃ =GK43 bm ₃ származású vonal
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	GKD ₁ izo.=GK42 izogén származású vonal	GKD ₂ izo.=GK43 izogén származású vonal
SzeTC 465	(GKD ₃ izo. x GKD ₅ izo.) GKD ₅ = GK59 izogén származású vonal	GKD ₄ izo.=GK57 izogén származású vonal
SzeTC 465 bm ₃	(GKD ₃ bm ₃ x GKD ₅ bm ₃)	GKD ₄ bm ₃ =57 bm ₃ származású vonal

Table 1. Maize hybrids and their parent lines. (1) Maize hybrids, (2) Female lines, (3) Male lines

Hibridek előállításának menete

A brown midrib kétvonalas kukorica hibrideket és izogén hibridjeiket keresztezéssel állítottuk elő. A keresztezés menete a következő lépésekből állt: virágzat izolálás, amelynek első lépése a csőkezdemény és a szár közötti metszés kialakítása, majd a csőkezdemény csúcsának levágása volt. Az izoláló zacskót rögzítettük a csőkezdeményen. A címeren a bibe megjelenését a portokok kifejlődése 3–4 nap múlva követte. A virágport leráztuk a pergamenre a címer-ről. Az izoláló zacskót levettük a bibéről és a virágport rászórtuk a kifejlett bibeszálakra. A pergamenzacskót rögzítettük a kukoricaszáron, úgy, hogy el-fedje a termékenyülő bibét.

A kukorica kísérletek tenyészterülete, állománysűrűsége

A kísérletet vonalanként és hibridenként két ismétlésbe, 5 m hosszúságú sorból álló parcellákba rendeztük. A növények közötti sortávolság 75 cm, a tőtávolság pedig 20 cm volt, így egy sorba 25 növény került, két ismétlésbe, tehát genotípusonként 50 kukorica elvetésére volt lehetőség. A kísérlet 1 tömböt (32 sor) foglalt el, így összesen 800 növényt vetettünk el.

A kísérleti tér talaja

A Bemutatókert talajtípusa kilúgzott csernozjom, a feltalaj meszet nem tartalmaz. Altalajvíz 7–9 méter mélységben helyezkedik el. A humuszréteg vastagsága szerint a közepes humuszrétegű kategóriába esik (50–70 cm). A talaj humusztartalma 2,57%. A talaj felső szintje a mészhányból eredően száraz, aszályos évjáratokban cserepesedésre hajlamos.

Meteorológiai adatok

2009. év időjárása rendkívül szélsőséges volt. Az év első kilenc hónapjában csak 188,7 mm csapadék hullott a 445,8 mm 30 éves átlaggal szemben.

A kukorica tenyészidejében (IV–IX. hó) 267,5 mm-rel hullott kevesebb csapadék a sokévi átlaghoz (345 mm) viszonyítva, ami főleg augusztus közepétől érezte kedvezőtlen hatását, ugyanis a kukoricaállomány hirtelen kezdett leszáradni és a szentelítődés időszakában elfogyott a talaj hasznos vízkészlete (2. táblázat).

A havi középhőmérséklet I–IX. hónapban 2,1 °C-kal volt magasabb a 30 éves átlagtól (11,5 °C), és a tenyészidőszakban is meghaladta a 30 éves átlagot (16,8 °C) 2,7 °C-kal, ami főleg a vízhiánnyal együtt különösen kedvezőtlen volt (3. táblázat).

2010. év időjárása extrém csapadékos volt, az I–IX. hónapokban 778,4 mm csapadék hullott, a 30 éves átlag 445,8 mm volt. Az átlaghoz viszonyítva 332,2 mm-rel több volt a csapadék. A tenyészidőben (IV–IX. hóban) lehullott csapadék mennyisége 658,8 mm, a sokévi átlag 345,1 mm volt. A sokévi átlaghoz viszonyítva 313,9 mm-rel hullott több csapadék a tenyészidőben (4. táblázat).

A havi középhőmérséklet I–IX. hóban 0,8 °C-kal, a tenyészidőben 0,35 °C-kal haladta meg a sokévi átlagot (5. táblázat).

2. táblázat. *Lehullott csapadék mennyiségének alakulása a tenyészidőszakban (mm)*
(Debrecen, Bemutatókert, 2009)

Napok (1)	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	2009					
1.						
2.						
3.						
4.						
5.					10,0	8,8
6.				2,2		
7.						
8.						
9.						
10.						
11.		5,8				
12.						
13.						
14.					1,1	
15.						
16.						
17.						0,5
18.						
19.						
20.						
21.						
22.			21,5			
23.		4,0	18,3			
24.						
25.			1,2			
26.						
27.						
28.		4,2				
29.						
30.						
31.						
Összesen (2)	0,0	14,0	41,0	2,2	11,1	9,3
30 éves átlag (3)	42,4	58,8	79,5	65,7	60,7	38,0
Eltérés a 30 éves átlagtól (4)	-42,4	-44,8	-38,5	-63,5	-49,6	-28,7

Forrás: DE MÉK Növénytudományi Intézet

Table 2. The precipitation amount (mm) in the growing season (Debrecen, Bemutatókert, 2009). (1) Days, (2) Mean, (3) 30-year-average, (4) Deviation from the 30-year-average, Source: DE MÉK Institute of Crop Sciences

3. táblázat. A hőmérsékleti adatok alakulása a tenyészidőszakban (°C)
(Debrecen, Bemutatókert, 2009)

Napok (1)	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	2009					
1.	12,2	16,7	14,9	26,0	25,3	18,0
2.	13,6	13,0	16,7	24,9	26,2	19,7
3.	13,3	16,7	16,4	24,3	27,6	22,1
4.	13,7	15,2	15,8	23,3	23,6	24,0
5.	15,2	16,6	15,6	22,3	21,3	18,0
6.	16,5	13,6	18,9	23,4	21,5	16,1
7.	16,8	16,0	23,4	23,3	23,2	17,2
8.	15,7	15,8	20,5	22,0	21,9	18,1
9.	16,6	17,6	24,4	20,4	21,8	21,1
10.	15,8	21,0	23,7	20,6	22,3	22,4
11.	17,9	22,4	21,7	19,2	21,5	23,6
12.	16,7	17,2	17,5	20,8	22,7	23,8
13.	15,6	14,1	15,6	21,9	22,1	21,9
14.	13,7	11,8	18,7	24,9	19,5	19,0
15.	13,6	17,3	19,6	27,2	22,2	19,9
16.	13,9	20,5	24,0	25,6	22,2	20,3
17.	12,5	20,8	20,6	27,3	23,3	19,1
18.	13,3	22,4	20,6	27,6	25,1	18,1
19.	16,1	20,6	23,5	19,0	23,0	17,5
20.	16,7	21,3	20,2	19,9	21,2	16,9
21.	16,5	21,3	14,0	22,2	22,2	17,0
22.	14,7	22,1	16,7	25,7	23,6	17,5
23.	13,1	20,2	18,7	28,2	19,7	18,8
24.	13,8	16,1	20,4	28,1	19,7	18,2
25.	13,7	18,6	21,8	21,3	21,9	17,8
26.	13,8	21,4	21,3	19,5	24,1	16,2
27.	14,0	18,4	21,2	20,6	25,9	17,1
28.	15,6	16,3	21,5	22,5	25,8	15,7
29.	16,2	11,9	22,3	24,3	23,8	16,9
30.	17,2	11,7	24,5	25,2	18,9	14,3
31.		10,9		25,2	18,2	
Közép (2)	14,9	17,4	19,8	23,4	22,6	18,9
30 éves átlag (3)	10,7	15,8	18,7	20,3	19,6	15,8
Eltérés a 30 éves átlagtól (4)	4,2	1,6	1,1	3,1	3,0	3,1

Forrás: DE MÉK Növénytudományi Intézet

Table 3. The temperature data (°C) in the growing season (Debrecen, Bemutatókert, 2009). (1) Days, (2) Mean, (3) 30-year-average, (4) Deviation from the 30-year-average, Source: DE MÉK Institute of Crop Sciences

4. táblázat. A hőmérsékleti adatok alakulása a tenyészidőszakban (°C)
(Debrecen, Bemutatókert, 2010)

Napok (1)	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	2010					
1.			15,2			34,6
2.						
3.						
4.	5,0		10,8		10,2	
5.	9,0					15,3
6.		11,3				
7.				40,1		
8.				11,0		10,0
9.						11,1
10.		18,8				1,2
11.						
12.	1,9	42,6				
13.	0,2				5,0	
14.	15,1	1,0	16,8			
15.	21,6	39,3			11,0	
16.					39,5	
17.						2,0
18.		9,4				28,3
19.	11,7	6,0		3,0		
20.		7,4				
21.		1,1	25,7			
22.			4,4			
23.			2,0			
24.						
25.		1,9				16,5
26.				37,0		
27.				3,3		
28.	12,7	15,2	19,0	8,8		1,0
29.				4,0		
30.		6,7	7,0		2,9	2,1
31.					22,1	
Összesen (2)	77,2	160,7	100,9	107,2	90,7	122,1
30 éves átlag (3)	42,4	58,8	79,5	65,7	60,7	38,0
Eltérés a 30 éves átlagtól (4)	34,8	101,9	21,4	41,5	30,0	84,1

Forrás: DE MÉK Növénytudományi Intézet

Table 4. The temperature data (°C) in the growing season (Debrecen, Bemutatókert, 2010). (1) Days, (2) Mean, (3) 30-year-average, (4) Deviation from the 30-year-average, Source: DE MÉK Institute of Crop Sciences

5. táblázat. A hőmérsékleti adatok alakulása a tenyésztidőszakban (°C)
(Debrecen, Bemutatókert, 2010)

Napok (1)	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.	IX.
	2010					
1.	10,9	7,8	18,7	13,9	23,5	24,2
2.	7,5	9,2	18,0	13,8	24,0	24,2
3.	6,2	7,2	20,0	13,6	20,7	24,2
4.	3,5	9,7	20,2	14,2	20,1	19,2
5.	3,4	11,3	20,7	18,4	18,8	19,7
6.	2,7	9,2	16,3	19,6	20,4	21,2
7.	3,1	11,3	14,7	21,5	13,8	20,9
8.	0,2	12,0	15,0	23,0	18,9	17,4
9.	0,9	11,7	14,7	24,2	19,3	17,2
10.	2,7	10,1	14,8	25,3	22,5	17,4
11.	3,6	7,3	17,5	27,4	25,4	19,6
12.	3,0	10,9	17,2	27,9	25,7	20,6
13.	3,5	11,7	16,1	26,3	24,9	22,4
14.	6,2	10,9	16,1	23,4	26,1	26,3
15.	5,4	9,6	15,7	20,1	26,3	21,4
16.	4,6	10,2	11,4	18,0	27,2	21,7
17.	4,2	9,5	11,3	19,5	26,8	19,7
18.	8,7	11,7	10,8	19,2	23,6	18,3
19.	11,7	11,7	10,9	20,2	25,1	19,1
20.	12,2	13,2	13,1	18,9	24,4	16,6
21.	13,1	12,3	16,0	16,8	24,9	17,7
22.	11,7	9,5	18,8	16,0	26,2	18,7
23.	9,3	10,2	18,7	17,3	25,5	19,7
24.	12,0	15,3	17,5	16,0	23,2	21,2
25.	12,9	17,1	19,2	16,1	14,7	20,0
26.	15,6	16,3	18,7	14,8	15,4	17,5
27.	10,8	16,0	19,7	17,7	14,7	21,7
28.	10,2	14,6	19,1	22,2	15,8	15,0
29.	11,6	14,3	18,6	22,4	20,0	11,9
30.	13,4	16,0	19,2	22,7	21,9	8,5
31.	11,9		15,7		22,8	6,8
Közép (2)	7,6	11,6	16,6	19,7	22,0	19,0
30 éves átlag (3)	10,7	15,8	18,7	20,3	19,6	15,8
Eltérés a 30 éves átlagtól (4)	0,9	0,8	1,0	1,7	-0,6	-1,7

Forrás: DE MEK Növénytudományi Intézet

Table 5. The temperature data (°C) in the growing season (Debrecen, Bemutatókert, 2010). (1) Days, (2) Mean, (3) 30-year-average, (4) Deviation from the 30-year-average, Source: DE MEK Institute of Crop Sciences

Alkalmazott agrotechnikai eljárások

Az őszi szántás minden évben november közepéig, 32 cm-es mélységben történt. A tavaszi elmunkálást, illetve a magágy-előkészítést korai tavaszi boronálással és a vetés előtt kombinátorozással végeztük el. A kukoricát vetőpuskával vetettük el.

A kísérletekben egységesen N 100, P₂O₅ 90, K₂O 90 kg/ha hatóanyagot alkalmaztunk mindhárom vizsgálati évben. A P és a K teljes adagját, illetve a N 30%-át az őszi szántás előtt szórtuk és dolgoztuk a talajba, a fennmaradó N-t tavasszal a kombinátorozás előtt juttattuk ki a szántóföldre.

Az állomány gyommentesen tartását vegyszeres- és mechanikai gyomirtással biztosítottuk. A vegyszeres gyomirtás alapkezelésből és felülkezelésből állt. Az alapkezelésben RAMROD FLOW-t (5,5 l/ha) használtunk preemergensen kijuttatva az egyszikű gyomok ellen. Felülkezelésben kétszikű gyomok elleni védekezésre BASAGRAN FORTE-t 1,5 l/ha dózisban alkalmaztunk.

A fenotípusos tulajdonságok leírása az UPOV-szabvány szerint a CPVO TP/2/2 irányelvek alapján történt (6. táblázat).

A heterózishatás vizsgálata

A brown midrib kukoricahibrideknél a heterózis mértékét növénymagasságra, az alsó csőeredés magasságára, csőhosszra és csőtömegre számítottuk ki. Kétféle heterózist határoztunk meg: átlagos heterózist és heterobeltiózist, ezeken belül abszolút és %-os változatot különböztettünk meg. A heterózis és a heterobeltiózis a következő két képlettel számolható ki:

$$\text{heterózis} = \frac{[F_1 - (P_1 + P_2)/2]}{(P_1 + P_2)/2} \times 100$$

ahol:

F₁ = a hibrid vizsgált tulajdonságának átlaga,

P₁ = az egyik szülő vizsgált tulajdonságának átlaga,

P₂ = a másik szülő vizsgált tulajdonságának átlaga, és

$$\text{heterobeltiózis} = \frac{[F_1 - HP]}{HP} \times 100$$

ahol:

HP = a legmagasabb szülői teljesítmény átlaga.

6. táblázat. *A morfológiai bélyegek kifejeződési fokozatai a kukorica CPVO TP2/2 vizsgálati irányelvéből*

CPVO TP2/2 száma (1)	Tulajdonságok (2)
3.	Levél: a levéllemez és a szár által bezárt szög (közvetlenül a legfelső jól fejlett cső felett) (3)
4.	Levél: a levéllemez állása (4)
6.	Címer: a hímvirágzás időpontja (a főtenyely középső harmadában, a növények 50%-án) (5)
10.	Címer: a főtenyely kalászkáinak tömörsége (6)
11.	Címer: a főtenyely és az oldalágak közötti szög (a címer alsó harmadában vizsgálva) (7)
12.	Címer: az oldalágak állása (8)
13.	Címer: az elsőrendű elágazások száma (9)
14.	Cső: a bibe megjelenésének időpontja (a növények 50%-án) (10)
21.	Növény: magasság (a címerrel együtt) (11)
29.	Cső: szemtípus (a cső középső harmadában) (12)

Forrás: CPVO TP/2/2 (2007)

Table 6. The phenotypic characteristics according to the UPOV CPVO TP2/2 guidelines. (1) CPVO TP2/2 number, (2) Characteristics, (3) Leaf: angle between the leaf blade and stem (directly above the uppermost well developed ear, (4) Leaf: position of the leaf blade, (5) Tassel: date of anthesis (in the middle third of the main axis, in the case of 50% of crops), (6) Tassel: compactness of spikelets of the main axis, (7) Tassel: angle between the main axis and the lateral shoot (examined at the bottom third of the tassel), (8) Tassel: position of the lateral shoots, (9) Tassel: number of primary shoots, (10) Ear: date of the appearance of the pistil (in the case of 50% of crops), (11) Plant: height (with the tassel), (12) Ear: grain type (in the middle third of the ear)

Eredmények

A brown midrib kukorica genotípusok és izogénikus változataik morfológiai leírása

A bm_3 gént tartalmazó kukorica genotípusok és izogénjeik morfológiai leírását az 7. táblázatban foglaltuk össze.

A növénymagasság alapján a GKD_2 izogén és a GKD_2 bm_3 vonalakat a „magas” kategóriába soroltuk. A GKD_2 izogén és a GKD_2 bm_3 esetében a nagyméretű címeren sok oldalág és nagyszámú pollensejt képződött, aminek ered-

ményeként a vonalakat apai partnerként használtuk fel a keresztezésekben. A GKD_2 vonalak a habitusukból eredően a legnagyobb fotoszintetikus hatékonysággal jellemezhetőek, ennek következtében a legtöbb „lófogú” szemtermést produkálták. A „lófogú” kukoricák termésében több a tápanyag, mint a „sima szemű” szemtermésekben.

7. táblázat. A bm_3 gént tartalmazó kukorica genotípusok és izogénjeik morfológiai bélyegeinek kifejeződési fokozatai a kukorica CPVO TP2/2 vizsgálati irányelve alapján (Debrecen, 2009–2010)

CPVO szám (1)	Vizsgált kukorica genotípusok (2)											
	GKD ₁		GKD ₂		GKD ₃		GKD ₃ x GKD ₁		GKD ₁ x GKD ₂		SzeTC 465	
	*izo.	bm ₃	*izo.	bm ₃	*izo.	bm ₃	*izo.	bm ₃	*izo.	bm ₃	*izo.	bm ₃
3.	1	1	3	3-5	3-5	3-5	5	5	3	3	7	7
4.	1	1	3	3	3	3	5	5	3	3	7	7
6.	1	1	3	3	3	3	1	3	1	1	3	3
10.	3	3	5	5	5	5	3	3	5	5	7	7
11.	3	3	3	3	7	7	5	5	5	5	5	5
12.	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13.	5	5	5	5	3	3	5	5	5	5	5	5
14.	1	1	3	3	3	3	1	3	1	1	3	3
21.	5	5	7	7	3	3	7	7	7	7	7	7
29.	1	1	5	5	1	1	5	2	5	2	5	3

Megjegyzés: *izo.=izogén

Table 7. The morphological characteristics of bm_3 maize genotypes and their isogenic lines according to the UPOV CPVO TP2/2 guidelines (Debrecen, 2009–2010). (1) CPVO number, (2) Examined maize genotypes, Note: *izo.=isogenic

A címer paramétereit felvételezve megállapítottuk, hogy a címeren található nagyszámú elsőrendű elágazások száma és a főtengelyen található tömött kalászkák miatt a GKD_1 *brown midrib* és *izogén* vonalai bőséges mennyiségű pollentermelésre voltak képesek. A képződött pollen nagy mennyisége alapján a hibrid előállításnál a GKD_1 *izogén* és *brown midrib* vonalak apai keresztezési partnerként kerültek kiválasztásra.

A GKD_3 izogén és brown midrib vonalai kevés számú címeroldalágakon a kalászkák számának csökkenése miatt kis mennyiségű pollen termelődött. A GKD_3 izogén és a GKD_3 brown midrib kukoricavonalakat a kis mennyiségű pollentermelésük miatt anyai keresztezési partnerként alkalmaztuk a hibrid előállításban. Az általunk vizsgált vonalak korai virágzásúak voltak.

A brown midrib vonalak csökkent mennyiségű szemtermést hoztak, a szemek a „simaszemű” kategóriába tartoztak és az ezerszemtömegük kisebb volt. A brown midrib vonalaknál tapasztalt kisebb termésmennyiséget a csőtermés alacsonyabb lignintartalma kompenzálta, mivel alacsony lignintartalom a takarmány emészthetőségét növeli. A GKD_3 izogén vonal esetében is „simaszemű” szemtermést tapasztaltunk, mert a növény a szétterülő habitusából adódóan kevesebb szervesanyagot produkált.

A GKD_1 izogén és a GKD_1 bm_3 vonalakat a levelek a szárral bezárt szöge alapján a „erectoides” típusba soroltuk. A levéllemezek a szárral bezárt szöge alapján a „horizontális” kategóriába soroltuk a GKD_3 izogén és a GKD_3 bm_3 vonalakat. A kukoricahibridek a növénymagasságuk alapján a „magas” kategóriába tartoztak. A címer morfológiáját tekintve minden vizsgált hibridre jellemző módon a főtenyely és az oldalágak közötti szög közepes volt. A brown midrib kukoricahibridjeink szemtermése „simaszemű” (flint) volt, míg az izogén változataik a szemtermésük alapján a „lófogú” (dent) kategóriába tartoztak.

A vizsgált hibridek közül a GKD_1 izogén x GKD_2 izogén valamint a GKD_1 bm_3 x GKD_2 bm_3 levéllemeze a szárral kicsi szöget zárt be. A GKD_3 bm_3 x GKD_1 bm_3 és a GKD_3 izogén x GKD_1 izogén hibrideket a levéllemezeiknek a szár által bezárt szöge alapján a közepes kategóriába soroltuk.

A hibridek levéllemezének állása „görbe” volt. A SzeTC 465 és az SzeTC 465 bm_3 kukoricahibridek levéllemeze a szárral nagy szöget zárt be. A levéllemezeik állása alapján az „erősen görbe” kategóriába tartoztak.

A brown midrib kukorica genotípusok és izogén változataik fenometriai mutatói, heterózishatás-vizsgálat

Az átlagos növénymagasságra a genotípus szignifikánsan hatott és a vizsgált két év közül 2010-ben volt nagyobb (154,83 cm; SzD_{5%}=16,28). Legmagasabbnak a GKD_2 bm_3 vonalat találtuk mindkét évben (192,33 cm 2010-ben; 168,00 cm 2009-ben).

A csőeredési magasságra nézve a genotípusok átlagértékei között mindkét kísérleti évben igazolható volt az eltérés, 2009-ben nagyobb értéket mutatott (45,77 cm).

A vonalak átlagos értékétől és a többi vizsgált növénytől is jelentősen alacsonyabb csőeredési magasság pontot felvételeztünk a *GKD3 bm₃*-nél 2010-ben (20,33 cm). A csőeredési magasság és a növénymagasság arányának átlaga 2009-ben magasabb (0,30) volt, mint 2010-ben (0,23). A legnagyobb arányértéket (0,32) a *GKD2 bm₃* és a *GKD3 izogén* mutatta a 2009-es vizsgálati évben.

A genotípus szignifikáns hatását gyakorolt a csőhosszra nézve is mindkét vizsgálati évben. A leghosszabb csőhosszt a *GKD2 izogén* vonal esetében mértük (2009-ben 13,70 cm, míg 2010-ben 12,96 cm-es).

A *bm* genotípusok kedvezően befolyásolták a vonalak csőtömegét is. 2010-ben a legnagyobb csőtömege a *GKD2 bm₃* vonalnak (52,96 g), míg 2009-ben a *GKD1 bm₃* (73,99 g) vonalnak volt (8. táblázat).

8. táblázat. *A brown midrib és az izogén kukoricavonalak fenometriai paramétereinek átlaga (Debrecen, 2009–2010)*

Vonalak (1)	Növény- magasság (cm)		Csőeredési magasság (cm)		Viszony- szám (4)		Csőhossz (cm)		Csőtömeg (g)	
	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010	2009	2010
GKD ₁ izogén	158,00	149,00	44,00	31,00	0,27	0,20	10,92	9,80	38,80	24,14
GKD ₁ bm ₃	138,33	141,00	36,66	32,33	0,26	0,22	11,40	11,50	73,99	32,95
GKD ₂ izogén	163,00	189,00	51,66	48,00	0,31	0,25	13,70	12,96	51,10	48,86
GKD ₂ bm ₃	168,00	192,33	55,00	48,66	0,32	0,25	10,50	10,46	46,60	52,96
GKD ₃ izogén	137,33	132,00	45,00	38,33	0,32	0,29	11,50	10,00	21,80	27,64
GKD ₃ bm ₃	137,66	125,66	42,33	20,33	0,30	0,16	9,90	10,30	28,65	42,12
Átlag (7)	150,38	154,83	45,77	36,44	0,30	0,23	11,32	10,83	43,49	38,11
SzD _{5%} (8)	11,48	16,28	10,55	13,41	-	-	0,88	1,67	10,15	15,65

Table 8. Average of phenometric characteristics in the case of brown midrib and isogenic maize lines (Debrecen, 2009–2010). (1) Lines, (2) Plant height, (3) Ear attachment height, (4) Rate, (5) Ear length, (6) Ear weight, (7) Average, (8) LSD_{5%}

A hibridek átlagos növénymagassága 218,38 cm-t volt. Az általunk nemesített kétvonalas hibridek közül a *GKD3 bm₃* x *GKD1 bm₃* növénymagasságra számított számtani átlagát számoltuk a legmagasabbnak (223,00 cm 2010-ben). A legalacsonyabb átlagot (192,00 cm) a *GKD1 bm₃* x *GKD2 bm₃*-nél mértük.

Az alsó csőeredés magassága a kukoricahibrideknél 62,80 cm-t volt. A legmagasabb átlagos növénymagasságot elért hibrid (*GKD3 bm₃* x *GKD1 bm₃*) rendelkezett a legalacsonyabb csőeredési magassággal (46,50 cm). A saját nemesítésű kétvonalas hibridjeink közül a legmagasabb átlagos csőeredési magasság értéket (74,00 cm) a *GKD3 izogén* x *GKD1 izogén* hibrid mutatta. A csőeredési magasság és a növénymagasság aránya minden felvételezett hibridnél alacsony volt: 0,28. A legmagasabb arányt (0,33) a *GKD3 izogén* x *GKD1 izogénnél* számoltuk. A legkisebb viszonyszám a 0,20 volt, amelyet a *GKD3 bm₃* x *GKD1 bm₃*-nél határoztunk meg.

Az általunk vizsgált kukoricahibridekre jellemző a rövid csőhossz, a hibridek csőhosszának átlagos értéke 15,60 g volt.

A saját nemesítésű kétvonalas hibridjeink közül a *GKD3 izogén* x *GKD1 izogén* rendelkezett a legnagyobb csőhosszal (15,72 cm). A legrövidebb átlagos csőhossz-értéket a *GKD1 bm₃* x *GKD2 bm₃* érte el (14,11 cm).

A *bm₃* gént tartalmazó kukoricahibridek csőtömege 72,27 g és 106,18 g, míg az *izogén* kukoricahibridek esetében 107,39 g és 135,61 g között voltak, az átlagértékük 108,29 g. A legnagyobb csőtömeg-értéket (135,61 g-ot) a *GKD3 izogén* x *GKD1 izogénnél* mértük (9. táblázat).

A szülők átlagának százalékában számított heterózis mértékét a növénymagasságra és a csőeredési magasságra nézve a 10. táblázat, míg a csőhosszra és a csőtömege nézve a 9. táblázat mutatja be. A saját nemesítésű kétvonalas kukoricahibridjeink közül a legnagyobb átlagos heterózis mértékét a növénymagasságnál (67,25%) a *GKD3 bm₃* x *GKD1 bm₃* érte el, ugyanakkor egyértelműen megmutatkozott a hibrid fölénye is a jobbik beltenyésztett vonalhoz viszonyítva (58,15%). A csőeredési magasság tekintetében szintén pozitív heterózis jelentkezett minden vizsgált hibridnél. A csőeredés magasságára nézve a legnagyobb hibridvigort (113,50%) a *GKD3 izogén* x *GKD1 izogén* esetében tapasztaltunk, amely a jobbik szülő átlagát 93,06%-al haladta meg.

9. táblázat. *A brown midrib és az izogén kukorica hibridek
fenometriai tulajdonságainak átlaga
(Debrecen, 2010)*

Hibridek (1)	Növény- magasság (cm) (2)	Csőeredési magasság (cm) (3)	Viszony- szám (4)	Cső- hossz (cm) (5)	Cső- tömeg (g) (6)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	218,00	74,00	0,33	15,72	135,61
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	223,00	46,50	0,20	15,32	72,27
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	218,66	55,00	0,25	15,28	107,39
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	192,00	53,33	0,27	14,11	97,39
SzeTC 465	249,66	81,00	0,32	16,98	130,94
SzeTC 465 bm ₃	209,00	67,00	0,32	16,20	106,18
Átlag (7)	218,38	62,80	0,28	15,60	108,29
SzD _{5%} (8)	19,15	15,12	-	1,06	22,95

Table 9. Average of phenometric characteristics in the case of brown midrib and isogenic maize hybrids (Debrecen, 2010), (1) Hybrids, (2) Plant height, (3) Ear attachment height, (4) Rate, (5) Ear length, (6) Ear weight, (7) Average, (8) LSD_{5%}

A *GKD3 izogén x GKD1 izogén* heterózis értékei voltak a legmagasabbak a csőhosszra és a csőtömegre számítva. A csőhossz átlagos heterózisának mértéke 58,78%, míg a heterobeltiózis értéke 57,20% volt. A hibrid csőtömege 423,79%-kal haladta meg a szülők átlagát, míg a jobbik szülő átlagához képest 390,62%-os hibridfölény jelentkezett (11. táblázat).

Következtetések

A recesszíven öröklődő *bm* gének iránti érdeklődés az alacsony lignintartalmat kódoló tulajdonsága miatt az utóbbi időben megnövekedett. A *bm₃* gént tartalmazó beltenyésztett vonalak több olyan morfo-fenometriai tulajdonságot hordoznak, amelyek alkalmassá teszik őket alternatív célú felhasználásra. A brown midrib vonalak „flint” típusúak, kisebb ezermagtömeeggel, amit azonban a termés alacsonyabb lignintartalma és jobb emészthetősége kompenzál. A *bm* vonalak igen nagy egyedi csőtömeeggel rendelkeznek. A debreceni kísérletünkben szármegdőlést nem tapasztaltunk.

10. táblázat. *Heterózishatás-vizsgálat a brown midrib kukoricahibridek növénymagasságánál és a csőeredési magasságánál (Debrecen, 2010)*

Hibridek (1)	Heterózis mértéke (növénymagasság) (2)			
	Átlagos heterózis (4)		Heterobeltiózis (5)	
	%-os (6)	Abszolút (7)	%-os (6)	Abszolút (7)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	55,16	7,75	46,30	69,00
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	67,25	89,67	58,15	82,00
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	29,38	49,66	15,69	29,66
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	15,20	25,34	-0,17	-0,33
SzeTC 465	68,12	101,16	66,44	99,66
SzeTC 465 bm ₃	38,87	58,51	30,29	48,60

Hibridek (1)	Heterózis mértéke (csőeredési magasság) (3)			
	Átlagos heterózis (4)		Heterobeltiózis (5)	
	%-os (6)	Abszolút (7)	%-os (6)	Abszolút (7)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	113,50	39,34	93,06	35,67
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	76,60	20,17	43,82	14,17
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	39,24	15,50	14,58	7,00
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	31,71	12,84	9,59	4,67
SzeTC 465	50,58	27,21	33,77	20,45
SzeTC 465 bm ₃	29,39	15,22	20,50	11,40

Table 10. The effect of heterosis on plant- and ear attachment height in the cases of brown midrib maize hybrids (Debrecen, 2010). (1) Hybrids, (2) Heterosis value of plant height, (3) Heterosis value of ear attachment height, (4) Average heterosis, (5) Heterobeltiosis, (6) Percentage, (7) Absolute value

11. táblázat. *Heterózishatás-vizsgálat a brown midrib kukoricahibridek csőhosszájánál és csőtömegénél (Debrecen, 2010)*

Hibridek (1)	Heterózis mértéke (csőhossz)			
	(2)			
	Átlagos heterózis (4)		Heterobeltiózis (5)	
	%-os (6)	Abszolút (7)	%-os (6)	Abszolút (7)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	58,78	5,82	57,20	5,72
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	40,55	4,42	40,55	3,82
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	34,27	3,90	17,90	2,32
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	28,50	3,13	22,69	2,61
SzeTC 465	-24,76	-5,59	-4,76	-5,59
SzeTC 465 bm ₃	24,90	3,23	22,26	2,95

Hibridek (1)	Heterózis mértéke (csőtömeg)			
	(3)			
	Átlagos heterózis (4)		Heterobeltiózis (5)	
	%-os (6)	Abszolút (7)	%-os (6)	Abszolút (7)
GKD ₃ izo. x GKD ₁ izo.	423,79	109,72	390,62	107,97
GKD ₃ bm ₃ x GKD ₁ bm ₃	92,56	34,74	71,58	30,15
GKD ₁ izo. x GKD ₂ izo.	194,21	70,89	119,79	58,53
GKD ₁ bm ₃ x GKD ₂ bm ₃	126,75	54,44	83,89	44,43
SzeTC 465	187,52	85,40	106,36	67,49
SzeTC 465 bm ₃	105,61	54,54	103,95	54,12

Table 11. The effect of heterosis on ear length and ear weight in the cases of brown midrib maize hybrids (Debrecen, 2010), (1) Hybrids, (2) Heterosis value of ear length, (3) Heterosis value of ear weight, (4) Average heterosis, (5) Heterobeltiosis, (6) Percentage, (7) Absolute value

A vizsgált kukoricahibridek nem rendelkeztek gyengébb állóképességgel az izogén változataikhoz képest. A *bm* vonalakkal előállított, *bm* géneket tartalmazó hibridek növénymagassága kiemelkedő, nagy tömegük következtében szilázs készítésére alkalmasak. Az izogén vonalak segítségével előállított hibri-

dek heterózis és heterobeltilózis értékei a *bm* analógokhoz képest kedvezőbbek voltak, ami arra enged következtetni, hogy a *bm* hibrideknél az alternatív hasznosíthatóságból származó előnyöket (emészthetőség, alacsony lignintartalom) érdemes elsősorban figyelembe venni. Államilag elismert *bm*-kukorica-hibridek még nincsenek köztermesztésben napjainkban.

IRODALOM

- Barnes, R. F.–Müller, L. D.–Bauman, L. F.–Colenbrander, V. F.*: 1971. In vitro dry matter disappearance of brown midrib mutants of maize (*Zea mays* L.) J. Anim. Sci. 33: 881–884.
- Barrieré, Y.–Argillier, O.–Mechin, V.*: 1998. In vivo digestibility and biomass yield in normal and bm_3 hybrids, made from crossing earl and medium late lines of maize. Maydica. 43. 2: 131–136.
- Bedő S.–Szilva V.*: 1982. A fejlődési állapot hatása a kukorica növény és növényliszt tápláléértékére. Állattenyésztés és Takarmányozás. 31: 31–42.
- Colenbrander, V. F.–Lechtenberg, V. L.–Bauman, L. F.*: 1973. Digestibility and feeding value of brown midrib corn stover silage. J. Anim. Sci. 37: 194–195.
- CPVO TP/2/2: 2007. <http://www.cpvo.europa.eu/index800.php>
- EL-Tekrit, R. A.–Lechtenberg, V. L.–Bauman, L. F.–Colenbrander, V. F.*: 1976. Structural composition and in vitro dry matter disappearance of brown midrib corn residue. Crop. Sci. 16: 387–389.
- Emerson, R. A.*: 1935. Cornell Univ. Agric. Exp. Sth. Memoir 180.
- Frenchick, G. E.–Johnson, D. G.–Murphy, J. M.–Otterby, D. E.*: 1976. Brown midrib corn silage in dairy cattle rations. J. Dairy Sci. 59: 2126–2129.
- Gallais, A.–Huguet, L.–Berthet, H.–Bertin, G.–Broqua, B.–Mourguet, A.–Traineau, R.*: 1980. Preliminary evaluation of brown-midrib maize hybrids for their feeding and agronomic value in France. [In: Pollmer, W. G.–Phipps, R. H. (eds.) Improvement of Quality Traits of Maize for Grain and Silage Use.] Nijhoff. The Hague. 319–339.
- Gyulavári O.–Pintér Z.–Toldiné Tóth É.*: 2003. Nemesítési kísérletek brown midrib kukorica vonalakkal és hibridekkel. Növénynemesítési Tudományos Napok. Budapest. 2003. március 5–6. Abstract 94.
- Gyulavári O.–Balassa Gy.–Toldiné Tóth É.*: 2006. Donorhatás vizsgálat back-cross-ok későbbi nemzedékeiben. XII. Növénynemesítési Tudományos Napok. Budapest. 2006. március 7–8. Összefoglalók. Poszter. 101.
- Keith, E. A.–Colenbrander, V. F.–Perry, T. W.–Bauman, L. F.*: 1981. Performance of feedlot cattle fed brown-midrib three or normal corn silage with various levels of additional corn grain. J. Animal Sci. 52: 8–13.

- Lechtenberg, V. L.–Müller, L. D.–Bauman, L. F.–Rhykerd, C. L.–Barnes, R. F.*: 1972. Laboratory and in vitro valuation of inbred and F2 populations of brown midrib mutants of *Zea mays* L. *Agron. J.* 64: 657–660.
- Lee, M. H.–Brewbaker, J. L.*: 1984. Effects of brown *midrib-3* on yields and yield components of maize. *Crop Sci.* 24: 105–108.
- Miller, J. E.–Gaedelmann, J. L.–Marten, G. C.*: 1983. Effect of the brown midrib-allele on maize silage quality and yield. *Crop Sci.* 23: 493–496.
- Pintér, L.–Németh, J.*: 1981. Comparison of grain and silage maize. 11th Congress of the EUCARPIA Maize and Sorghum Section. Montreux. Switzerland.
- Undersander, D. J.–Howard, W. T.–Shaver, R. D.*: 1993. Milk per acre spreadsheet for combining yield and quality into a single term. *J. Prod. Agric.* 6: 231–235.
- Weller, R. F.–Phipps, R. H.–Cooper, A.*: 1985. The effects of the brown *midrib-3* gene on the maturity and yield of forage maize. *Grass Forage Sci.* 40: 335–339.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Erdei Éva–Kovácsné Oskolás Henriett–
Dr. Pepó Pál
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Dr. Gyulavári Oszkár
Gabonatermesztési Kutató Kht.
Táplászentkereszt Kutató Állomás
Táplászentkereszt
Rumi út 25–27.
H-9761

A kálium, bór és a stroncium hatása az őszi árpára

KÁDÁR IMRE

MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest

Összefoglalás

A K és B elemek közötti kölcsönhatásokat vizsgáló kísérletet 1987 őszén állítottuk be az MTA ATK TAKI Nagyhörcsök Kísérleti Telepén. A kísérlet talaja löszön képződött mészlepedékes csernozjom vályog, mely mintegy 5% CaCO_3 -ot, 3% humuszt és 20% agyagot tartalmaz a szántott rétegben. Az 1987 őszén végzett talajelemzéseink szerint a feltalajban a $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 7,8; a $\text{pH}(\text{KCl})$ 7,3 volt. Ami az ásványi elemeket illeti az $\text{AL-K}_2\text{O}$ 180–200, az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 100–120, a KCl -oldható Mg 110–150, a $\text{KCl}+\text{EDTA}$ oldható Mn 60–80, Cu és Zn 1–2, forróvízoldható B 0,7 mg/kg értékekkel volt jellemezhető. A *MÉM NAK* (1979) által elfogadott módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj kielégítő Mn, B, Mg és K, közepes N és P, valamint gyenge Zn és Cu ellátottságáról tanúskodnak. A talajvíz szintje 13–15 m mélyen található, a terület aszályérzékeny. Az átlagos középhőmérséklet 11 °C, az éves csapadékösszeg 400–600 mm közötti egyenetlen eloszlással. Főbb megállapítások, levonható tanulságok:

- Ezen a káliummal és bórral egyaránt kielégítően ellátott meszes vályogtalajon trágyahatások a termésben nem jelentkeztek. A kísérlet átlagában 4,4 t/ha szem, illetve 4,6 t/ha szalma képződött 9,0 t/ha légszáraz földfeletti biomasszát adva.
- A bórterheléssel megkétszereződött a szembe, illetve 4-szeresére nőtt a szalmába épült B mennyisége. A bórtrágya 7 év után is a gyökérjárta felsőbb talajrétegekben maradhatott. A B-trágyázás mérsékelte a Mg koncentrációját mind a szemben, mind a szalmában. A K-trágyázással viszont igazolhatóan emelkedett a K és a Ba a növényi részekben.
- Az őszi árpa földfeletti termésénél 156 kg N, 86 kg K, 29 kg P, 21 kg Ca, 11 kg Mg, 4 kg Na, 1 kg Fe, 200 g körüli Mn és Ba, 100 g feletti Sr és Zn, 55 g B és 32 g Cu távozott hektáronként.

- Az 1 t szem és a hozzátartozó melléktermés fajlagos egységnyi elemtartalma 35-15-22-7-4=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg/t mennyiségnek adódott kísérleti körülményeink között. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a tervezett termés elemigényének számításakor a szaktanácsadásban.

Kulcsszavak: kálium, bór, stroncium, őszi árpa, elemfelvétel

The impact of potassium, boron and strontium on winter barley

I. KÁDÁR

Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry
Centre for Agricultural Research, Hungarian Academy of Sciences

Summary

The experiment focusing on the interactions between K and B was established in the autumn of 1987 on the Nagyhörcsök Experiment Site of HAS RISSAC. The soil at the experiment site was calcareous chernozem adobe soil formed on loess and it contained around 5% CaCO₃, 3% humus and 20% clay in the ploughed layer. According to the soil analyses performed in the autumn of 1987, the pH(H₂O) of the topsoil was 7.8; while the pH(KCl) was 7.3. As regards mineral elements, the following values were obtained: AL-K₂O: 180–200 mg kg⁻¹, AL-P₂O₅: 100–120 mg kg⁻¹, KCl-soluble Mg: 110–150 mg kg⁻¹, KCl+EDTA soluble Mn: 60–80 mg kg⁻¹, Cu and Zn 1–2 mg kg⁻¹, hot water soluble B: 0.7 mg kg⁻¹. Based on the methods and limit values accepted by the *MÉM NAK* system (1979), these data show the satisfactory Mn, B, Mg and K supply levels of the soil, medium N and P levels and weak Zn and Cu supply levels. The groundwater level is 13–15 m and the area is drought-sensitive. The mean temperature is 11 °C and the yearly precipitation sum is 400–600 mm with uneven distribution. Main conclusions to be drawn:

- The fertiliser impacts were not shown in yield in this calcareous adobe soil weakly supplied with both potassium and boron. Averaged over the whole experiment, the obtained yields were 4.4 t ha⁻¹ (grain) and 4.6 t ha⁻¹ (straw), resulting in 9.0 t ha⁻¹ airdry biomass.

- The boron load doubled the amount of B incorporated into the grain, while its amount in straw increased four times. The boron fertiliser remained in the upper soil layers interlaced with roots even after seven years. B fertilisation decreased Mg concentration both in the grain and the straw. However, K fertilisation significantly increased K and Ba levels in the vegetable parts.
- The above-ground yield of winter barley withdrew 156 kg N, 86 kg K, 29 kg P, 21 kg Ca, 11 kg Mg, 4 kg Na, 1 kg Fe, 200 g Mn and Ba, >100 g Sr and Zn, 55 g B and 32 g Cu per hectare.
- The specific element content of 1 t grain and its secondary yield was 35-15-22-7-4=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg t⁻¹ under experimental circumstances. Our obtained data could serve as a basis for calculating the element need of the planned yield in consultancy.

Key words: potassium, boron, strontium effect, winter barley, element uptake

Влияние калия, бора и стронция на озимый ячмень

И. КАДАР

Венгерская Академия Наук (МТА АТК), Институт Почвоведения и Агрохимии,
Будапешт

Резюме

Опыт, исследующий взаимные влияния элементов К и В, установили осенью 1987 года на Опытной базе Исследовательского Института Почвоведения и Агрохимии Венгерской Академии Наук в Надьхёрчёк (Nagyhörcsök). Опытная почва чернозёмно-суглинистая, образованная на лёсе с известковым налетом, содержала всего 5% СаСО₃, 3% гумуса и 20% глины в пахотном слое. Согласно проведённым осенью 1987 года анализам почвы в пахотном слое было рН(Н₂О) 7,8; рН(КСl) 7,3. Минеральные элементы характеризуются следующими показателями AL-K₂O 180–200, AL-P₂O₅ 100–120, КСl-растворимый Mg 110–150, КСl+ЕDТА растворимый Mn 60–80, Cu и Zn 1–2, растворимый в кипятке В 0,7 mg/kg. Признанными Центром защиты растений и Агрохимии Министерства Сельского хозяйства и Продовольствия МЕМ НАК (1979) методами и на основании предельных значений эти данные под-

тврждают удовлетворительную обеспеченность почвы Mn, B, Mg и K, среднюю обеспеченность N и P, а также слабую обеспеченность почвы Zn и Cu. Уровень грунтовых вод расположен на глубине 13–15 m, территория чувствительна к засухе. Общая средняя температура 11 °C, годовое количество осадков 400–600 mm в неравномерном распределении. Главные выводы, заключения:

- На этой в одинаковой мере удовлетворительно обеспеченной калием и бором известковой суглинистой почве влияния удобрения не проявляются в урожае. В среднем в опыте образовалось 4,4 t/ha зерна, и также 4,6 t/ha соломы, дав 9,0 t/ha воздушносухой надпочвенной биомассы.
- С внесением бора удвоилось встроенное в зерно количество B, а также в 4 раза выросло встроенное в солому количество B. Удобрение бора и через 7 лет могло остаться в верхних почвенных слоях, где были корни. Удобрение B уменьшило концентрацию Mg как и в зерне, так и в соломе. Но с удобрением K доказуемо выросло K и Ba в частях растения.
- При урожае надземного озимого ячменя 156 kg N, 86 kg K, 29 kg P, 21 kg Ca, 11 kg Mg, 4 kg Na, 1 kg Fe, около 200 g Mn и Ba, свыше 100 g Sr и Zn, 55 g B и 32 g Cu удалилось по-гектарно.
- Удельное на единицу содержание элементов 1 t зерна и относящихся к нему побочных продуктов получилось в количестве 35-15-22-7-4=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg/t в наших опытных условиях. Наши данные могут служить указателем при вычислении потребности в элементах планируемого урожая в профессиональном консультировании.

Ключевые слова: калий, бор, стронций, озимый ячмень, приём элементов

Bevezetés

Ismert, hogy az árpa a kalászosok közül kiemelkedik erőteljesebb K-igényével, melyet különösen a hagyományos német nyelvű szakirodalom hangsúlyoz. *Becker-Dillingen* (1934) szerint pl. még a kötöttebb talajokon is szükségessé válhat a K-műtrágyázás istállótrágya nélküli forgóban, amennyiben a nagytestű K-igényes elővetemények mint a répa és a burgonya kimerítik a talaj felvehető K-készletét. A megfelelő K-ellátás ellensúlyozhatja az esetleges N-túlsúly hátrányait, csökkenti a megdőlés veszélyét, javítja a minőséget és a betegség-ellen-

állóságot. Úgyszintén igényes e növény a talaj felvehető P-tartalmával szemben, ezért meghálálja a szuperfoszfáttal végzett műtrágyázást. A kielégítő P-ellátás mennyiségi pozitívumai a K-hoz hasonlóak. A N-műtrágyát megosztva, főként tavaszi fejtrágyaként javasolja.

Általános hazai vélemény szerint a jó árpatalaj a mélyrétegű humuszos, meszes vályog. Ami a trágyaigényét illeti, hangsúlyozzák, hogy kevesebb trágyát igényel a búzánál, mert hamarabb megdőlhet. Inkább az előveteménye alá javasolt az istállótrágya vagy közvetlenül adva a féladagú trágyázás ajánlott (Cserhádi 1901, Grábner 1948, Láng 1976, Antal 2000).

A termesztési, trágyázási tapasztalatok közvetlenül sajnos nem vehetők át, hiszen mások a természeti viszonyok. Északnyugat-Európa talajai általában durvább szerkezetűek, fiatalabbak (a jégkor később ért véget), tápanyagokban szegényebbek, kilúgzásuk kifejezettebb. Ebből adódóan látványosak a K-hatások. A N-szolgáltatásuk is mérsékeltebb, kevesebb humuszt tartalmaznak, mint a kontinentális, arid vidékek talajai. Ugyanakkor az enyhe téli időjárás miatt nem szünetel a mikrobiális tevékenység (a lebomlás), ezért az őszi N-trágyázás megdőlést okozhat, hiszen a fejlődés korai szakaszában a növényi N-igény még minimális.

Pekáry és Holló (1979) Kompolton, P-ral gyengén-közepesen ellátott savanyú agyagos vályog csernozjom barna erdőtalajon évente 0,5–1,0 t/ha körüli P-hatásokat kapott 500 kg/ha egyszeri P_2O_5 feltöltő adaggal, a talaj P-ellátottságát jó-közepes 70–100 mg/kg AL- P_2O_5 szintre emelve. Lásztity (1979) K-mal igen gyengén ellátott 40–60 mg/kg AL- K_2O tartalmú talajon, meszes Duna-Tisza közti homokon 750 kg/ha maximális feltöltő K_2O adagot alkalmazva 1,6 t/ha terméstöbbletet nyert. Az NPK_0 parcellák 3–3 t/ha szemtermése 4,9 t/ha-ra nőtt az őrbottyáni kísérleti telepen. Az őszi árpa meghálálhatja tehát nemcsak a N, hanem a P és K trágyázást is, amennyiben a talaj gyengén ellátott.

A nemzetközi irodalomban elfogadott (Eaton 1944, Keren és Bingham 1985, Bergmann 1992), hogy a B-mérgezéssel szemben érzékenyek a pázsitfűvek, bab, szója, len. Közepesen toleráns az árpa, dohány, kukorica, cirok, borsó, búza. Toleráns a lucerna, répafélék, napraforgó, mák, repce mint olajnövények. A Berger és Truog (1944) szerinti forróvizoldható B-teszt alapján az érzékeny növénycsoport 1 mg/kg alatti, a közepesen toleráns 1–5 mg/kg közötti, míg a toleráns 5–10 mg/kg közötti talajbani B-tartalomnál jelezhet depressziót.

Anyag és módszer

A K és B elemek közötti kölcsönhatásokat vizsgáló kísérletet 1987 őszén állítottuk be az MTA ATK TAKI Nagyhörcsök Kísérleti Telepén. A kísérlet talaja löszön képződött mészlepedékes csernozjom vályog mely, mintegy 5% CaCO_3 -ot, 3% humuszt és 20% agyagot tartalmaz a szántott rétegben. Az 1987 őszén végzett talajelemzéseink szerint a feltalajban a $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ 7,8; a $\text{pH}(\text{KCl})$ 7,3 volt. Ami az ásványi elemeket illeti az $\text{AL-K}_2\text{O}$ 180–200, az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 100–120, a KCl -oldható Mg 110–150, a $\text{KCl}+\text{EDTA}$ oldható Mn 60–80, Cu és Zn 1–2, forróvízoldható B 0,7 mg/kg értékekkel volt jellemezhető. A *MÉM NAK* (1979) által elfogadott módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj kielégítő Mn, B, Mg és K, közepes N és P, valamint gyenge Zn és Cu ellátottságáról tanúskodnak. A talajvíz szintje 13–15 m mélyen található, a terület aszályérzékeny. Éghajlata az Alföldéhez hasonlóan szárazságra hajló, átlagos középfőmérséklete 11 °C, az éves csapadékösszeg általában 400–600 mm között ingadozik.

A kísérlet osztott parcellás (split-plot) elrendezésű, beállításkor $3\text{K} \times 4\text{B} = 12$ kezelés $\times 3$ ismétlés = 36 parcellával. A parcellák mérete $4,9 \times 8 = 39,2$ m² volt. A parcellákat 1992 tavaszán megfeleztük és az így nyert fél parcellákon 67 kg/ha Sr-ot szórtunk ki SrCl_2 formájában. A $4\text{B} \times 3\text{K} \times 2\text{Sr} = 24$ kezelés $\times 3$ ismétlés = 72 parcellát eredményezett, ahol a $\text{B} \times \text{K} \times \text{Sr}$ elemek közötti kölcsönhatások is vizsgálhatókká váltak.

1. tényező (főparcellák): K

K_0 = kontroll,

K_1 = 1000 kg/ha K_2O 1987 és 1990 őszén kiadva,

K_2 = 2000 kg/ha K_2O 1987 és 1990 őszén kiadva.

2. tényező (alparcellák): B

B_0 = kontroll,

B_1 = 20 kg/ha B 1988 tavaszán és 1990 őszén kiadva,

B_2 = 40 kg/ha B 1988 tavaszán és 1990 őszén kiadva,

B_3 = 60 kg/ha B 1988 tavaszán és 1990 őszén kiadva.

3. tényező (al-alparcellák): Sr

Sr_0 = kontroll,

Sr_1 = 67 kg/ha Sr 1992 tavaszán kiadva.

A betakarítást követően parcellánként 20–20 pontból átlagmintákat vettünk a szántott talajrétegből. A talajmintákat szintén 40–50 °C-on szárítottuk, majd homogenizáltuk analízisre előkészítve. A talajok alapvizsgálati jellemzőit *Baranyai et al.* (1987), illetve a *MÉM NAK* (1978) által ismertetett eljárásokkal vizsgáltuk. Az ammóniumlaktát+ecetsav oldható PK tartalmakat *Egner et al.* (1960), a humuszt *Tyurin* (1937) módszere szerint határoztuk meg. A N mérésére *Kjeldahl* (1891) szerint, míg az NH_4 -acetát+EDTA oldható elemeket *Lakanen* és *Erviö* (1971) módszerével vizsgáltuk a kísérlet egyes éveiben. A növényeket a hagyományos $\text{cc.H}_2\text{SO}_4 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$ roncsolást követően elemeztük a B kivételével. A B vizsgálatát talajban és a növényekben az azomethine-H módszerével végeztük *Sippola* és *Erviö* (1977), illetve *Sillanpää* (1982) leírása alapján.

A Botond fajtájú őszi árpát 1998. október 5-én vetettük el gabonasortávolságra, 5–6 cm mélyre 180 kg/ha vetőmag normával. Állománybonítást végeztünk bokrosodásban és virágzás idején. Az aratás július 1-én történt parcellakombájnnal. Előtte parcellánként 4–4 fm=0,5 m nettó területről mintakévétt vettünk a fő- és melléktermés tömegarányának megállapítása, illetve az analitikai vizsgálatok céljából. A kísérletben végzett agrotechnikai műveletekről és a vonatkozó módszertani megjegyzésekről a *1. táblázat* nyújt áttekintést.

Az elővetemény mák betakarítása 1998. augusztus elején történt. Az őszi árpa vetéséig tartó 2 hónap alatt még 174 mm csapadékot kapott a terület. Ezt követően októberben 73, novemberben 48, decemberben 22, 1999. év januárjában 15, februárban 44, márciusban 17, áprilisban 81, májusban 77, júniusban 192 mm eső hullott. A tenyészidő 9 hónapja alatt tehát összesen 569 mm. A sekélyen gyökerező elővetemény mák a rövid, 4,5 hónapos tenyészideje alatt nem szárította ki a mélyebb talajrétegeket. Az őszi árpa vízellátottsága ebben az évben megfelelő volt. Az 1999. év csapadékösszege egyébként 830 mm-t tett ki, jelentősen meghaladva a telepen mért 540 mm sokéves átlagot.

Eredmények

A tartamkísérlet 1988–2004 között folyt, 17 éven át. A kísérlet beállításának körülményeiről és az első 7 évben kapott eredményekről korábbi munkáink számolnak be. A növényi sorrendet az *2. táblázat* tekinti át feltüntetve a termesztett növényfajokat, fajtákat, illetve hibrideket is az egyes években. Megemlítjük, hogy az alaptrágyázás általában 100–100 kg/ha/év N és P_2O_5 volt 25%-os pétisó és szuperfoszfát formájában. A lucerna N-trágyázásban nem részesült, a

400 kg/ha P₂O₅ adagot a telepítést megelőzően adtuk ki a 4 évre. Kálisóként 60%-os KCl-ot, bórtrágyaként 11,3%-os Na₂B₄O₇·10H₂O bóraxot használtunk. Az első évben napraforgót termesztettünk. A B-trágyázás tőszámcsökkenést okozott, melyet a K-trágyázással ellensúlyozni lehetett.

1. táblázat. *Agrotechnikai műveletek és megfigyelések az őszi árpa K×B×Sr kísérletben 1999-ben (mészlepedékes csernozjom vályogtalaaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)*

Műveletek megnevezése (1)	Időpont (2)	Egyéb megjegyzés (3)
1.Őszi műtrágyázás (NP) (4)	1998. 09. 22.	Parcellánként kézzel (20)
2.Egyirányú szántás (5)	1998. 09. 22.	MTZ-80+Lajta eke (21)
3.Szántás elmunkálása (6)	1998. 09. 22.	MTZ-50+gyűrűshenger (22)
4.Vetőágykészítés (7)	1998. 10. 02.	MTZ-80+kombinátor (23)
5.Vetés (fajta: Botond) (8)	1998. 10. 05.	MTZ-50+Lajta-32 vetőgép (24)
6.Magtakarás (9)	1998. 10. 05.	MTZ-50+gyűrűshenger (22)
7.Növényállomány sorol (10)	1998. 10. 20.	Egységesen az egész kísérletben (25)
8.Tavaszi N-műtrágyázás (11)	1999. 03. 19.	Parcellánként kézzel (20)
9.Bonitálás bokrosodáskor (12)	1999. 04. 05.	Parcellánként 1–5 skálán (26)
10.Bonitálás virágzáskor (13)	1999. 06. 04.	Parcellánként 1–5 skálán (26)
11.Mintakéve vétele (14)	1999. 07. 01.	Parcellánként 4 fm=0,5 m ² (27)
12.Kombájnlás (15)	1999. 07. 01.	Parcellánként 4×2,1=8,4 m ² (28)
13.Szalma betakarítása (16)	1999. 08. 12.	MTZ-80+bálázógép (29)
14.Tarlóhántás (17)	1999. 08. 12.	MTZ-80+tárcsa+gyűrűshenger (30)
15.Mintakévek feldolgozása (18)	1999. 09. 10.	Parcellánkénti átlagminták (31)
16.Minták őrlése analízisre (19)	1999. 10. 14.	Parcellánkénti átlagminták (31)

Megjegyzés: elvette 5–6 cm mélyre, gabona-sortávra, 55–60 db/fm csíraszámmal és 180 kg/ha vetőmagnormával.

Table 1. Agrotechnical operations and observations in the K×B×Sr experiment on winter barley in 1999 (calcareous chernozem adobe soil, Nagyhörcsök, Mezőföld). (1) Operations, (2) Date, (3) Other notes, (4) Autumn fertilisation (NP), (5) Unidirectional ploughing, (6) Finishing the surface after ploughing, (7) Seedbed preparation, (8) Sowing (variety: Botond), (9) Preparing seed cover, (10) Emergence of the crop stand, (11) Spring N fertilisation, (12) Classification during stooling, (13) Classification during flowering, (14) Taking a sample sheaf, (15) Harvesting with a combine, (16) Harvesting the straw, (17) Stubble-stripping, (18) Processing sample sheaves, (19) Grinding samples for analysis, (20) Manually per plot, (21) MTZ-80+Lajta plough, (22) MTZ-50+roller, (23) MTZ-80+combinator, (24) MTZ-50+Lajta-32 sowing machine, (25) Uniformly in the whole experiment, (26) On a scale from 1 to 5 per plot, (27) 4 running metres=0.5 m² per plot, (28) 4×2,1=8,4 m² per plot, (29) MTZ-80+baler, (30) MTZ-80+disc+roller, (31) Average samples per plot. Note: 5–6 cm sowing depth with cereal row spacing, 55–60 germs per running metre and 180 kg sowing seeds per ha.

2. táblázat. *Növényi sorrend a K×B×Sr tartamkísérlet növényi sorrendje 1988–2004 között (mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)*

Kísérlet éve (1)	Növényfaj (forgó) (2)	Fajta (hibrid) (3)
1988	napraforgó(4)	Topflor-2
1989	kukorica(5)	Pi 3732
1990	tavaszi repce(6)	Arista
1991	lucerna(7)	Verko
1992	lucerna(7)	Verko
1993	lucerna(7)	Verko
1994	lucerna(7)	Verko
1995	cirok(8)	Alföldi-1
1996	búza(9)	MV-21
1997	bab(10)	Debreceni tarka
1998	mák(11)	Kompolti-M
1999	őszi árpa(12)	Botond
2000	tritikále(13)	Presto
2001	koronafürt(14)	Kompolti tarka
2002	koronafürt(14)	Kompolti tarka
2003	koronafürt(14)	Kompolti tarka
2004	koronafürt(14)	Kompolti tarka

Table 2. Plant order of the K×B×Sr long-term experiment between 1988–2004 (calcareous chernozem adobe soil, Nagyhörcsök, Mezőföld). (1) Experiment year, (2) Crop species (rotation), (3) Variety (hybrid), (4) Sunflower, (5) Maize, (6) Spring rape, (7) Alfalfa, (8) Sorghum, (9) Wheat, (10) Bean, (11) Poppy, (12) Winter barley, (13) Triticale, (14) Crownvetch

A második évben termesztett kukorica szem- és szártermése 1,5 t/ha mennyiséggel lett kisebb a maximális B-terhelés nyomán. A termésdepresszió, illetve mérgezés akkor következett be, amikor a B koncentrációja a 4–6 leveles hajtásban elérte a 70–80, a virágzaskori levélben a 100 mg/kg határértéket. A K-feltöltés részben ellensúlyozta a B-toxicitást. A harmadik évben a K és a B kezelések nem befolyásolták a tavaszi repce fejlődését, termését. A megismételt K és B terhelési szintek sem módosították a lucerna termését 1991–1994 között, illetve a cirok, búza, bab termését a későbbi években (Kádár 2013).

A kálium, bór és a stroncium kezelések a termés tömegét nem befolyásolták. A kísérlet átlagában 4,4 t/ha szemtermés, illetve 4,6 t/ha szalmatermés kép-

ződött. A K-trágyázással emelkedett a szalma és a szem K és Ba koncentrációja, a 7 évvel korábban adott 67 kg/ha Sr-adag nyomán pedig enyhén emelkedett a szalmában mért Sr-tartalom a 3. táblázatban bemutatott adatok szerint.

3. táblázat. K és Sr kezelések hatása az őszi árpa összetételére 1999-ben
(mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

K ₂ O adag (kg/ha)	K (%)		Ba (mg/kg)		Sr adag (kg/ha)	Sr (mg/kg)	
	Szalma (3)	Szem (4)	Szalma (3)	Szem (4)		Szalma (3)	Szem (4)
0	1,04	0,54	33,7	4,7	0	22,8	5,3
2000	1,42	0,56	37,1	5,9	67	25,2	5,5
4000	1,53	0,56	44,4	7,4			
SzD _{5%} (5)	0,12	0,02	1,3	2,2	SzD _{5%} (5)	1,2	0,5
Átlag (6)	1,33	0,55	38,4	6,0	Átlag (6)	24,0	5,4

Table 3. The impact of K and Sr treatments on the composition of winter barley 1999 (calcareous chernozem adobe soil, Nagyhörcsök, Mezőföld). (1) K₂O dose (kg ha⁻¹), (2) Sr dose (kg ha⁻¹), (3) Straw, (4) Grain, (5) LSD_{5%}, (6) Average

A B-terhelés hatására igazolhatóan mérséklődött a szalmába és a szembe épült Mg mennyisége. Ugyanitt a szemtermésben megkétszereződött, míg a szalmában megnégyszereződött a kontrollon mért B-tartalom a maximális B-terhelésű parcellákon. Mindez arra utal, hogy a trágyázás után 7 évvel a bőrtrágya még a gyökérjárta felső talajrétegekben maradt, nem mosódott ki (4. táblázat).

4. táblázat. B kezelések hatása az őszi árpa Mg és B tartalmára 1999-ben
(mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

B adag (kg/ha)	Mg (mg/kg)		B (mg/kg)	
	Szalma (2)	Szem (3)	Szalma (2)	Szem (3)
0	759	2011	4,3	1,6
40	729	1903	7,0	2,1
80	693	1865	11,0	2,7
160	687	1837	17,4	3,4
SzD _{5%} (4)	46	163	2,2	0,4
Átlag (5)	717	1904	10,0	2,4

Table 4. The impact of B treatments on the Mg and B content of winter barley in 1999 (calcareous chernozem adobe soil, Nagyhörcsök, Mezőföld). (1) B dose (kg ha⁻¹), (2) Straw, (3) Grain, (4) LSD_{5%}, (5) Average

Az őszi árpa betakarított földfeletti termésével 156 kg N, 86 kg K, 29 kg P, 21 kg Ca, 11 kg Mg, 4 kg Na és 1 kg Fe távozott hektárra számolva. Az 5. táblázat adataiból az is látható, hogy a felvett N, P, Mg, Zn és Cu nagyobb része a szemben akkumulálódott, mint a szemképződés fontos építőelemei.

5. táblázat. Az őszi árpa átlagos összetétele és elemfelvétele 1999-ben
(mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhőrcsök, Mezőföld)

Elem jele (1)	Mérték- egység (2)	Elemtartalom (3)		Mérték- egység (2)	Elemfelvétel* (4)			Fajlagos (1 t mag + mellék- termés) (8)
		Szalma (5)	Szem (6)		Szalma (5)	Szem (6)	Összes (7)	
N	%	0,99	2,49	kg/ha	46	110	156	35
K	%	1,33	0,55	kg/ha	62	24	86	20
Ca	%	0,37	0,08	kg/ha	17	4	21	5
Mg	%	0,07	0,19	kg/ha	3	8	11	25
P	%	0,14	0,53	kg/ha	6	23	29	67
Na	mg/kg	874	24	g/ha	3896	106	4002	909
Fe	mg/kg	170	52	g/ha	782	229	1011	230
Mn	mg/kg	30	22	g/ha	138	97	235	53
Ba	mg/kg	38	6	g/ha	175	26	201	46
Sr	mg/kg	24	5	g/ha	110	22	132	30
Zn	mg/kg	8	18	g/ha	37	79	116	26
B	mg/kg	10	2	g/ha	46	9	55	12
Cu	mg/kg	3	4	g/ha	14	18	32	7

Megjegyzés: *átlagosan 4,4 t/ha szem, illetve 4,6 t/ha szalma, azaz 9,0 t/ha légszáraz földfeletti biomassza tömeggel számolva.

Table 5. Average composition and element uptake of winter barley in 1999 (calcareous chernozem adobe soil, Nagyhőrcsök, Mezőföld). (1) Element, (2) Measurement unit, (3) Element content, (4) Element uptake*, (5) Straw, (6) Grain, (7) Total, (8) Specific (1 t grain + secondary yield). Note: *calculations were made with 4.4 t ha⁻¹ grain and 4.6 t ha⁻¹ straw on average, that is 9.0 t ha⁻¹ airdry above ground biomass.

A szalma a tartalék-tápelemek szerveként is szolgálhat felhalmozva a K, Ca, Na, Mn, Sr, Ba, B elemeket. Ami az 1 t szemtermés és a hozzátartozó melléktermés úgynevezett fajlagos elemtartalmát illeti, kísérleti körülményeink kö-

zött 35-15-22-7-4=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg/t mennyiségnek adódott. Adataink iránymutatóul szolgálhatnak a tervezett termés elemigényének becslésénél a szaktanácsadás során.

IRODALOM

- Antal J.*: 2000. Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Baranyai F.-Fekete A.-Kovács I.*: 1987. A magyarországi talajtápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Becker-Dillingen, J.*: 1934. Handbuch der Ernährung der landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Paul Parey Verlag. Berlin.
- Berger, K. C.-Truog, E.*: 1944. Boron tests and determination for soils and plants. Soil Sci. 57: 25-36.
- Bergmann, W.*: 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag. Jena-Stuttgart-New York.
- Cserháti S.*: 1901. Általános és különleges növénytermelés. II. kötet. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda. Magyar-Óvár.
- Eaton, F. M.*: 1944. Deficiency, toxicity and accumulation of B in plants. J. Agric. Res. 69: 237-277.
- Egnér, H.-Riehm, H.-Domingo, W. R.*: 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K-Lantbr. Högsk. Ann. 26: 199-215.
- Grábner E.*: 1948. Szántóföldi növénytermesztés. III. Átdolgozott és bővített kiadás. Pátria Nyomda. Budapest.
- Kádár I.*: 2013. A kálium, bór és stroncium hatása a mákra (*Papaver somniferum* L.) Agrokémia és Talajtan. 62. 2: 359-372.
- Keren, R.-Bingham, F. T.*: 1985. Boron in water, soils and plants. Advances in Soil Science. 1: 229-276.
- Kjeldahl, J.*: 1891. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschr. f. Analyt. Chemie. 22: 366-382.
- Lakanen, E.-Erviö, R.*: 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. Acta Agr. Fenn. 123: 223-232.
- Láng G.*: 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Lásztity B.*: 1979. Kálium-műtrágyázás hatása az őszi árpa tápanyag-gazdálkodására. Mezőgazdaság Kemizálása. NEVIKI-KAE. Keszthely. Ankét. 210-216.
- MÉM NAK*: 1978. A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest. 48.
- MÉM NAK*: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.

Pekáry K.–Holló S.: 1979. A feltöltő PK-trágyázás hatása a talajra és a termésre csernozjom barna erdőtalajon. Növénytermelés. 28. 1: 163–174.

Sillanpää, M.: 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils. A global study. FAO Soils Bulletin. No. 48. Rome. 444.

Sippola, J.–Erviö, R.: 1977. Determination of boron in soils and plants by the azomethine-H method. Finn. Chem. Lett. 1977: 138–140.

Tyurin, I. V.: 1937. Organicszeszkie vescuesztva pocsv. Szelhozgiz. Moszkva.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Kádár Imre
MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet
Budapest
Herman O. u. 15.
H-1022

A 'Plainsman V./Cappelle Desprez' őszi búza szárazságtűrési DH térképezési populáció fenológiai vizsgálata és méretének szűkítése

¹NAGY ÉVA – ²PAUK JÁNOS

¹Szent István Egyetem, Genetika és Biotechnológia Intézet, Gödöllő

²Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Biotechnológia Osztály, Szeged

Összefoglalás

A szárazságtűrés komplex tulajdonság, amelynek kialakításában számos gén, illetve a környezeti tényezők együttesen vesznek részt. A szárazságtűrés genetikai hátterének megismerésében nagy szerepe van a genetikai térképezésnek. A dolgozatban a szárazságtűrési genetikai kutatásokhoz létrehozott doubled haploid (DH) térképezési populáció fenológiai vizsgálatának egy részletét és a populáció méretének szűkítési eredményeit mutatjuk be.

A térképezési populáció az amerikai származású 'Plainsman V.' (♀), közismerten szárazságtűrő búzafajta, valamint a szárazságra érzékeny francia származású 'Cappelle Desprez' (♂) fajta keresztezésével jött létre. A hasadó genetikai állományú F₁ növények mikrospóráiból, portoktenyészet eredetű homozigóta vonalakat használtunk fel. A teljes térképezési populáció több mint négyszáz DH (doubled haploid) törzsből állt. A populáció nagy mérete miatt, szükséges lépés volt a térképezési populáció szűkítése. A szűkítés indokát a szakirodalmak is megerősítették, lévén a genetikai térképezésre használt populációk átlagos mérete 100–200 független genotípus között van.

A fenotípusos adatok felvételezése után, a szűkítést a búza szárazságtűrés szempontjából fontos tulajdonságok alapján végeztük el. Ezek a kalászolási idő, a szemtermés mennyisége, az ezerszemtömeg valamint a növénymagasság voltak. Munkánk során arra törekedtünk, hogy a populáció normál eloszlását ne változtassuk meg. Ezt a 'három szigma szabállyal' ellenőriztük, mely a normál eloszlás bizonyítására alkalmazható statisztikai szabály.

Jelenleg a szűkített térképezési populáció 137 DH törzsből áll (a két szülő genotípust is beleszámítva), amely már alkalmas populációméret a további fenotipizáláshoz és a genotipizálás megkezdéséhez. Kísérleteink végső célja a szárazság genetikai hátterének mélyebb megismerése. Dolgozatunkban ennek a kísérleti munkának az első részét foglaltuk össze.

Kulcsszavak: búza, szárazságtűrés, térképezési populáció, fenotipizálás

The 'Plainsman V. / Cappelle Desprez' DH winter wheat drought tolerance mapping population phenological testing and size reduction

¹É. NAGY - ²J. PAUK

¹Szent István University, Institute of Genetics and Biotechnology, Gödöllő

²Cereal Research Non-Profit Ltd., Department of Biotechnology, Szeged

Summary

Drought tolerance is a complex trait which is configured by numerous genes and environmental factors can substantially influence it, too. The response of the genotype to water stress depends on many factors. Genetic mapping plays an important role in understanding the drought tolerance and its genetic background. The current results of reducing the size of the (DH) doubled haploid drought tolerant mapping population and a part of the phenological results are summarised in this paper.

The mapping population was developed by crossing 'Plainsman V.' (♀), a US wheat variety well-known of its drought resistance and 'Cappelle Desprez' (♂), a French wheat variety sensitive to drought. The entire mapping population consisted of more than four hundred DH (doubled haploid) wheat lines. Due to the large population size, a necessary step was to refine the mapping population. According to the technical literature, the average size of a mapping population consists of 100–200 genotypes.

After collecting the phenotypic data, the most important goal was to create a reduced size of population for easier handling. The screening for plant height, heading time, grain yield and 1000-kernel weight has resulted in a mapping population of 137 DH

lines by now. In our work, we try to ensure the normal distribution. We checked this by using the 'three-sigma rule', a statistical rule used for checking the normal distribution.

At present the limited mapping population is 137 DH line (including the parent genotype as well), which is an appropriate population size for the further phenotyping and genotyping work. The final goal of our experiments will be the understanding the genetic basis of drought tolerance. In this paper, the first part of our researches has been summarized.

Key words: wheat, drought tolerance, mapping population, phenotyping

Фенологическое исследование засухоустойчивости картированной популяции ДН озимой пшеницы 'Plainsman V./Cappelle Desprez' и сужение её размеров

¹Е. НАДЬ – ²Я. ПАУК

¹Университет им. Святого Иштвана, Институт Генетики и Биотехнологии, Гёдёллё

²Исследование Зерна некоммерческое общепольное ООО, Отдел Биотехнологий, Сегед

Резюме

Засухоустойчивость - комплексное свойство, в формировании которого принимают участие многие гены, а также совместно факторы окружающей среды. В познании генетического фона засухоустойчивости большую роль играет генетическое картирование. В работе мы показываем частичные результаты фенологического исследования картированной популяции созданного для исследования генетики засухоустойчивости двойного гаплоида (ДН) и результаты сужения размеров его популяции.

Картированная популяция создавалась скрещиванием общеизвестного американского засухоустойчивого сорта пшеницы 'Plainsman V.' (♀), и чувствительного к засухе французского сорта 'Cappelle Desprez' (♂). Из микроспор растений состава F₁, делящихся генетически, использовали гомозиготные линии, происходящие из произрастания пыльников. Полная картированная популяция состояла из племени с более

чем четырёхсот двойных гаплоидов (doubled haploid). Из-за большого размера популяции необходимо было сузить картированную популяцию. Мотивацию сужения также подтвердила и специальная литература, тем, что средние размеры использованные для генетического картирования составляют 100–200 независимых генотипов.

После учета фенотипичных данных, сужение провели на основе важных с точки зрения засухоустойчивости пшеницы свойствах. Это были: время колошения, количество урожая зерна, масса тысячи зёрен и высота растений. В ходе работы стремились к тому, чтобы не изменилось нормальное распыление популяции. Это проверили «правилом трёх сигм», которое является статистическим правилом, служащим для подтверждения нормального распыления.

В настоящее время суженая картированная популяция состоит из 137 ДН племен (включая генотип и двух родителей), это уже пригодный размер популяции для дальнейшей фенотипизации и для начала генотипизации. Конечная цель наших опытов- более глубокое изучение генетического фона засухоустойчивости. В нашей работе описали первую часть этой опытной работы.

Ключевые слова: пшеница, засухоустойчивость, картированная популяция, фенотипизация

Bevezetés

Az abiotikus stresszfaktorok a világ növénytermelésének egyik legfontosabb korlátozó tényezői. A szárazság, valamint a vízhiány a legmeghatározóbb környezeti stressz, mely a Föld területének egy részén lehetetlenné teszi a mezőgazdasági művelést (pl. sivatagok), illetve a művelt területeken óriási termésingadozást okoz. A szárazság olyan periódusként definiálható időjárási esemény, amikor az átlagosnál kevesebb a csapadék, ezáltal a növények termőképessége csökken. Szűkebb értelemben akkor beszélünk szárazságról, ha a növény transzspirációja meghaladja a vízfelvételét (Heszky 2012).

A szárazságstresszel szemben ellenálló növények jelentősége egyre nagyobb, ezért olyan növények nemesítése a cél, melyek bármely életszakaszban jól tűrik a csapadékhiányt, és a termésdepresszió a lehető legkisebb mértékű. A szárazságtűrés hazai viszonyok között is a gabonafélék termésbiztonságának egyik meghatározó eleme.

A szárazságtűrés mennyiségi, azaz kvantitatív jelleg, melynek megnyilvánulását több gén együttesen befolyásolja, ugyanakkor a környezeti tényezők is hatást gyakorolnak rá. A szárazságtűrést meghatározó gének és funkciójuk megismerése a modern genetika egyik nagyjelentőségű kihívása. Egy genotípus vízhiányra adott válasza sok tényezőtől függ, ezért megbízhatóan toleráns genotípusok kialakítása nagy körültekintést és komplex megközelítést igényel. Precíz fenotipizálás elvégzésére azért van szükség, mert a további kutatásokhoz (genotipizálás) nélkülözhetetlenek a fenotípusból nyert eredmények.

Az abiotikus stresszek, többek között a szárazságstressz valódi fenyegetést jelentenek a termésmennyiségre (*Bhatnagar-Mathur et al.* 2008, *Heszky* 2012). A globális klímaváltozás következtében a szárazság szerepe egyre jelentősebb lesz (*Mir et al.* 2012). Ezért a növénynevelés egyik legnagyobb mai kihívása az abiotikus stresszekkel szembeni tolerancia vizsgálata és kialakítása. Ez a nevelés egyik legnehezebb területe, legfőbb problémát az okozza, hogy a stresszek maguk is változatosak, erősségük, megjelenésük időpontja, valamint a hatásuk (*Tanács et al.* 1992) kiszámíthatatlan (*Cseuz és Matuz* 2012).

A szárazság-tolerancia őszi búza esetén rendkívül értékes tulajdonság. Az ideális genotípusban a nagyobb termőképesség és a tolerancia a szárazság-stresszel szemben egyszerre van jelen. A szárazságtűrésre történő nevelést nehezíti, hogy sok, a szárazságtűréssel kapcsolatba hozható bélyeg hatása, termés csökkentő lehet (*Pantuwan et al.* 2002, *Ober et al.* 2004, *Rizza et al.* 2004, *Pigeon et al.* 2006). Ezek a jellemzők pl. a koraiság, kis zöld tömeg, gyenge bokrosodó képesség stb. Nevelési szempontból azonban nagyobb hangsúly van a termést növelő tényezőkön (*Tanács et al.* 1995), mint a szélsőséges szárazság túlélést elősegítő tulajdonságokon. Ennek oka az lehet, hogy utóbbinak a hatása kevésbé kedvezőtlen normál körülmények között (*Passioura* 1996).

A legtöbb morfológiai bélyeg egyszerű öröklődést követ, így viszonylag könnyű szelektálni rájuk. A száraz körülmények között termelhető búza optimális magasságáról a vélemények megoszlanak. Magyarországon, ahol az éves csapadék mennyisége szélsőségesen ingadozik, inkább a szilárd szárra, mint a magasságra célszerű szelektálni, a dőlés elkerülése érdekében. A mérsékelt bokrosodás csökkenti a kalászek számát, de gazdaságos vízfelhasználást tesz lehetővé. A gyenge bokrosodás előnyösen befolyásolja a termést, amikor a szárazságstressz korai fenofázisban jelentkezik (*Islam és Sedgely* 1981). A xilem átmérője a gyökerekben és a szárban nagy fontosságú a vízfelhasználás

szempontjából (*Venora és Calcagno* 1991). A szálkák jelenléte a kalászon segíti a szemtelítődést, mivel a fotoszintézis a nagy ozmoreguláció hatására a kalásban történik legtovább (*Morgan* 1984, *Blum* 1988). A mélyreható, elágazó gyökér meghatározó tulajdonság a szárazság tolerancia kialakításában (*Streda et al.* 2012, *Blum et al.* 2009). A korai kalászosítás előnyt jelenthet, de növelheti a késő tavaszi fagykár veszélyét is (*Richards et al.* 2001).

A szárazság toleráns búza ideotípusa kiterjedt és mélyreható gyökérszettel, magas-középmagas szárral, valamint a körülményekhez igazodó bokrosodási képességgel, viaszolt vagy szőrözött, kis felületű levélzettel, szálkázott kalással rendelkezik. A szárazságstressz típusától függően előny lehet a tavaszi gyors kezdeti fejlődés, valamint a korai kalászosítás és érés (*Hoffmann et al.* 2006) is. A szárazságtűrésre történő nemesítés egyik legfontosabb megközelítési módja a vízfelhasználás hatékonyságának növelése (*Cseuz* 2009). Amennyiben a szárazságtűrés genotípusos, valamint fenotípusos háttere ismertebbé válik, a nemesítési módszerek gyorsabban fejlődhetnek, a nagyobb termésmennyiség érdekében (*Bennett et al.* 2012).

A növénynemesítésben és a genetikában az egyik legfontosabb cél az, hogy a termesztés szempontjából fontos tulajdonságokat meghatározó gének kromoszomális lokalizációját, egymáshoz viszonyított helyzetét meghatározzák. Ehhez nyújtanak segítséget a genetikai térképek. A genetikai térkép elkészítésének meghatározó feltétele a megfelelő térképezési populáció létrehozása. Az ideális térképezési populáció előállításakor a szülő genotípusok a vizsgálni kívánt tulajdonságok tekintetében eltérőek (*Galiba és Tóth* 2006). A térképezési populációkkal szembeni legfontosabb elvárás a pontos, precíz fenotipizálás elvégzése (*Cattivelli et al.* 2008). A genetikai kutatások során nem feltétlenül szükséges a teljes térképezési populációt fenotipizálni, elegendő csak egy részét, mely reprezentálja a teljes populációt (*Uang et al.* 2013).

Zhang et al. (2011) térképezési munkájuk során 154 őszi búza genotípussal dolgoztak, melyből 137 kínai, 2 olasz, valamint 15 mexikói (CIMMYT) volt. *Maphosa et al.* (2013) 368 DH (doubled haploid) őszi búza homozigóta vonalból 192 genotípust használtak fel térképezésre. A populáció szűkítésekor a korai, középkorai genotípusokra szelektáltak.

A térképezési munkáik során *Lopes et al.* (2013) 165 RIL vonalból álló tavaszi búza térképezési populációval dolgoztak. *Bennett et al.* (2012) 368 őszi búza genotípusból álló térképezési populációjukat a genotipizálási munkák elvégzéséhez 255-re szűkítették. *Teulat et al.* (2001) árpa térképezési populá-

ciója 187 genotípusból illetve a szülő genotípusokból állt, míg egy másik térképezési munkához a szülő genotípusok mellett 167 genotípust térképeztek. *Suzuky Pinto et al.* (2010) 167 rekombináns beltenyésztett tavaszi búza genotípussal végzett térképezési munkákat. *Salem et al.* (2007) tritikálé térképezési populációja 114 rekombináns beletenyésztett tritikálé vonalból állt.

A fentiek alapján elmondható, hogy a leggyakrabban használt populáció-méret 100–200 genotípus közötti, az említett publikációkban. A közel 400 genotípusból álló szárazságtűrési térképezési populációt, ezt figyelembe véve szűkítettük kezelhető méretűre. Dolgozatunkban erről a munkáról számolunk be.

Anyag és módszer

A térképezési populációt az amerikai származású 'Plainsman V.' közismerten szárazságtűrő amerikai búzafajta, valamint a szárazságra érzékeny francia származású 'Cappelle Desprez' fajta keresztezésével hoztuk létre. Anyaként a 'Plainsman V.' genotípus szerepelt. Mivel ez szálkás fajta, így az apának használt 'Cappelle Desprez' tar kalású fajta domináns jellegéből (tar) pontosan meg tudtuk állapítani az első nemzedék hibrid voltát. Az F_1 növények donor kalászeit felhasználva a további vizsgálatokhoz doubled haploid (DH) növényeket állítottunk elő, egy korábbi pályázati munkában.

Az így létrehozott térképezési populációt (több mint 400 db DH genotípus), a Gabonakutató Kft. Kecskés-telepi búza tenyészkertjében vetettük el, parcella vetőgéppel, egysoros parcellákba, összel. A növények az egész tenyészidőszak során a standard tenyészkeri agrotechnikát kapták. A jelenlegi kísérletnek a feladata a fenotipizáláshoz fontos adatok tenyészkeri felvételezése és értékelése volt.

Az aratást követően a teljes populációt a szegedi kalászos génbankban helyeztük el, kivéve a mintákból a további vizsgálatokhoz szükséges genetikailag megbízható magmintát. Az aratást a genetikai tisztaság érdekében kézzel és nagy figyelemmel végeztük.

A felvételezett tulajdonságokat (kalászolási idő, növénymagasság, szemtermés, ezerszemtömeg stb.) a tenyészkerben, a megfelelő időpontban tenyészkeri füzetbe rögzítettük és az adatokat később számítógépen dolgoztuk fel.

A 'Plainsman V./Cappelle Desprez' DH térképezési populáció szűkítését praktikus és genetikai okok miatt végeztük el. A négyszázat meghaladó populáció méretből a szűkítés során kihagytuk – a megfigyelési és mérési adatok

alapján – azokat, amelyek hosszú tenyészidejük, megdőlésük, esetleg inhomogenitásuk miatt zavarták a fenotipizálás jelenlegi és későbbi munkáját

Az összegyűjtött adatok statisztikai kiértékelését a Microsoft® Excel 2002 statisztikai szoftver „Analysis tool pack” (Microsoft, Redmond, WA, USA) segítségével végeztük el. A térképezési populáció eloszlási görbéinek normalitás elemzéséhez, a 'három szigma szabály'-t alkalmaztuk (Závoti 2010). Normál eloszlásúnak azt az adatsort tekintettük, mely a következő kritériumoknak megfelelt:

- az adatok 68,2%-a az $[m-s, m+s]$ intervallumba,
- az adatok 80%-a az $[m-1,282*s, m+1,282*s]$ intervallumba,
- az adatok kb. 90%-a az $[m-1,645*s, m+1,645*s]$ intervallumba,
- az adatok kb. 95,5%-a az $[m-2*s, m+2*s]$ intervallumba esik (m =az átlag, s =a szórás).

Eredmények

A több mint 400-ból, 391 független DH törzset tartalmazó populációról begyűjtött fenotípus adatok áttekintése után a célunk az volt, hogy a populáció méretet lecsökkentsük, könnyen kezelhető és a genetikai kutatáshoz még megfelelően használható populáció méretre. Az irodalmi adatok alapján a térképezési munkához 100–200 közötti doubled haploid (DH) törzsből álló populációméret elegendőnek látszott, a fenotipizálási munkát követő genotipizáláshoz. Alábbiakban összefoglaltuk, hogyan szűkítettük le a 391 DH törzsből álló szárazságtűrési DH populációt 137 törzsből álló kisebb populációra, úgy, hogy a vizsgált tulajdonságokat jellemző normáeloszlás ne változzon meg szignifikánsan. A megoszlási görbék normalitását, a 'három szigma szabály' segítségével ellenőriztünk.

A populáció méret szűkítése a kalászolási idő alapján

A DH térképezési populáció szűkítése szempontjából az első fontos tulajdonság – amit részletesen megvizsgáltunk – a kalászolási idő volt (*1. ábra*). A teljes populáció (391 DH törzset tartalmazva) átlag kalászolási ideje – január 1-től számítva – az év 132. napjára esett. Ezzel szemben a szűkített populáció átlagos kalászolási ideje 129. napra csökkent le, az átlag adatok alapján. A 'Plainsman V.' szülő kalászolási ideje a 124. napra esett, míg a 'Cappelle Desprez' szülőé a 139. napra. Az *1. ábrán* jól látható, hogy a szűkített populációba tartozó genotípu-

sok között a kalászolási idő eltérés lényegesen kisebb. Az adatokból látható, hogy mindössze 13 nap a kalászolási amplitúdó, azaz harmada a kiindulási populáció kalászolási idő amplitúdójának. A kalászolási idő mind a teljes, mind a szűkített populáció esetében normál eloszlást mutatott, amit a 'három szigma szabállyal' ellenőriztünk.

1. ábra. A kalászolási idő megoszlási gyakoriságának grafikonja a teljes (391 független DH törzs szaggatott vonallal) és szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban

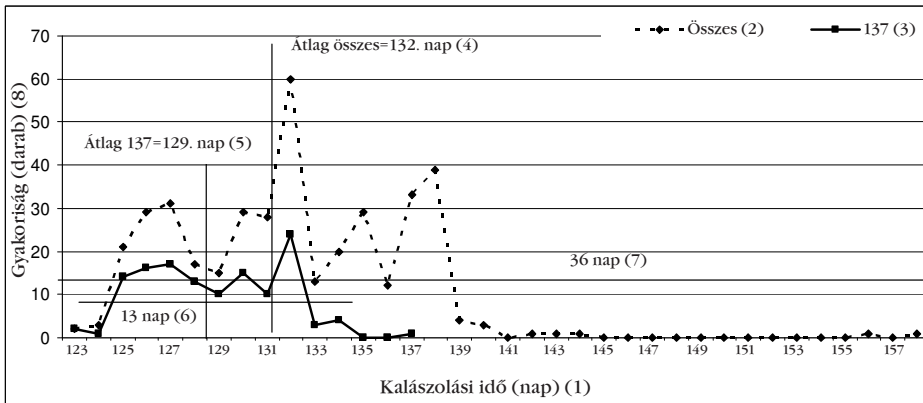


Figure 1. Heading time frequency distribution graph of the full (391 independent DH lines dashed line) and reduced (137 independent DH line) mapping population. (1) Heading time, (2) Entire population, (3) 137 DH lines, (4) Total average of heading time in days, (5) Average of heading time of reduced (137 independent lines) populatuion, (6) 13 days, heading time amplitude of reduced population, (7) 36 days, heading time amplitude of entire population, (8) Frequency (pieces).

A szemtermés mennyisége és a populációméret szűkítés kapcsolata

Minden agronómiai jellemző közül a legfontosabb a szemtermés mennyisége, hiszen a búza esetében – hasonlóan minden haszonnövényhez – a termőképesség meghatározóan fontos mutató. A törzsenkénti szemtermés vizsgálata során, a populáció méret csökkentése kapcsán, a célunk nem a szélső értékek kizárása volt, hanem éppen ennek ellentéte, a minél szélesebb termőképességbeli eltérés megtartása. Nevezetesen, hogy ne zárjuk ki sem a szélsőségesen keveset termő, sem pedig a bőtermő genotípusokat. A 2. ábra alapján elmondható, hogy célunkat sikerült megvalósítani, mivel a 391, illetve a 137 genotí-

pusból álló populáció szemtermés eloszlási görbéje, szemmel láthatóan is hasonló egymáshoz (2. ábra). A szélső értékeket (alacsony és magas egyedi szemtermés) sikerült megtartani a szűkített populációban is. Az egyes genotípusok közötti szemterméskülönbség meglehetősen nagy. A legkevesebb szemtermést adó genotípus 150 g alatt termett parcellánként, a legtöbbet termő pedig 500 g-ot adott. A 'Plainsman V.' szülő 211 g-ot míg a 'Cappelle Desprez' szülő 456 g szemtermést adott. A különbség több mint háromszoros (2. ábra). Az átlagos szemtermés a teljes populációt nézve 290 g volt, a szűkítettre nézve, pedig 284 g volt. A kapott eredmények normalitás vizsgálata, melyet a 'három szigma szabállyal' végeztünk el, azt mutatta, hogy mind a szűkített, mind a teljes populáció normál eloszlású.

2. ábra. A genotípusonkénti (DH törzsek) szemtermés alakulása a teljes (391 független DH törzs szaggatott vonallal) és szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban

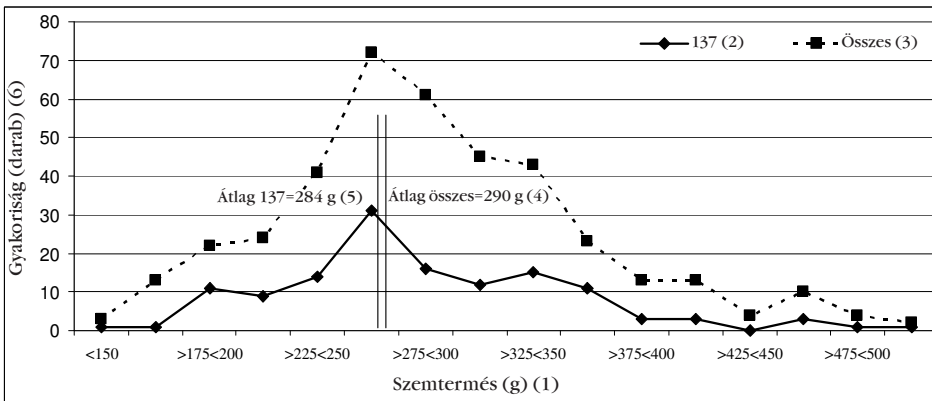


Figure 2. The per genotype (DH lines) evolution of the total grain yield (391 independent DH lines dashed line) and reduced (137 independent DH line) mapping population. (1) Total grain yield per individual, (2) 137 DH line, (3) Entire population, (4) Average entire population, (5) Average 137 DH line, (6) Frequency (pieces).

Az ezerszemtömeg és a populációméret szűkítés

Az ezerszemtömegek vizsgálatakor, a populációméret szűkítése kapcsán, a célunk megegyezett a szemtermésnél hangsúlyozottakkal, tehát nem a szélsőértékek kizárására, hanem azok megtartására törekedtünk, miközben a térképezési populációt kb. egyharmadára csökkentettük le. A 3. ábrán megfigyel-

hető, hogy a célunkat elértük, a két görbe lefutása szemmel láthatóan is hasonló. A szűkített és a teljes populációt a 'három szigma szabállyal' vizsgálva normál eloszlást kaptunk mindkét (összes és a 137 törzset tartalmazó populáció) esetben.

A szűkített és a teljes populáció átlag ezerszemtömege is 39 g-nak adódott (3. ábra), tehát a szűkítés ezt a tulajdonságot nem befolyásolta. A szélsőértékek között a különbség igen jelentős. A legkisebb ezerszemtömegű genotípus 24 g, míg a legnagyobb 53 g tömegű. A szélsőértékek között megjelenő különbség több mint kétszeres. A 'Planisman V.' szárazságtűrő szülő ezerszemtömege 38 g-nak, míg a 'Cappelle Desprez' fogékony szülőé 43 g-nak adódott.

3. ábra. A genotípusonkénti (DH törzsek) ezerszemtömeg alakulása a teljes (391 független DH törzs szaggatott vonallal) és a szűkített (137 független DH törzs) térképezési populációban.

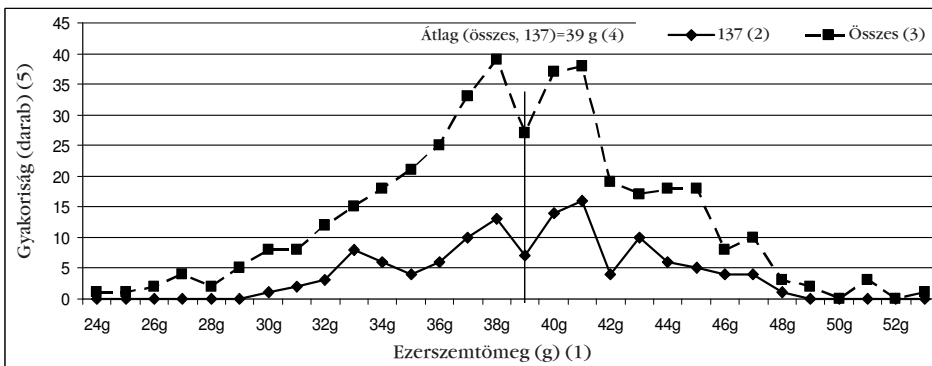


Figure 3. The per genotype (DH lines) evolution of the total 1000 kernel weight (391 independent DH lines dashed line) and the reduced (137 independent DH lines) mapping population. (1) 1000 kernel weight, (2) 137 DH lines, (3) Entire population, (4) Average (entire population and 137 DH lines), (5) Frequency (pieces).

A növénymagasság figyelembevétele a populációméret szűkítésénél

A DH őszi búza térképezési populáció méretének csökkentésekor a növénymagasság szintén fontos tulajdonság volt. A magas szárral rendelkező búzánövény hajlamos a dőlésre, ami további fenotipizálási nehézséget okoz. A magas, gyenge szárral rendelkező genotípus a fenotipizálási kísérletben rádől a mellette lévő kísérleti parcellára és ezzel annak eredményét is befolyásolja.

Ezért ebben az esetben célunk az volt, hogy a dőlésre hajlamos, magas törzset a szűkítés kapcsán kihagyjuk a populációból.

A szűkített populációban összesen kettő olyan genotípus maradt, amely magasabb egy méternél. A teljes populáció átlagmagassága 82,4 cm, míg a szűkített populáció átlagmagassága 76,9 cm volt. Ezek az átlag adatok is mutatják, hogy a magas genotípusokat sikeresen elimináltuk. A 'Plainsman V.' szülő növénymagassága 66 cm, míg a 'Cappelle Desprez' szülő növénymagassága 82 cm volt. A növénymagasságot a 'három szigma szabállyal' vizsgálva nem kaptunk normál eloszlást a szűkített populációban, de ezt nem tekintettük hibának, éppen a korábban említettek miatt. Ebben az esetben, a gyakorisági görbe normalitása, nem volt igazolható a 'három szigma szabállyal'.

Következtetések

A 'Plainsman V./Cappelle Desprez' szárazságtűrési térképezési populáció eredeti egyedszáma a két szülőt is beleértve 391 független homozigóta genotípusból állt. Valójában ennél valamivel több, de ebben a vizsgálatban csak 391 DH törzset vontunk be. A populáció nagy mérete miatt – az első fenotipizálási vizsgálatok után – szükséges volt a térképezési populáció szűkítése. A szűkítés indokoltságát a szakirodalmak is megerősítették, a genetikai térképezésre használt populációk átlagos mérete 100–200 genotípus méretű. *Maphosa et al.* (2013) genotipizálásra 192 genotípust használtak fel. *Lopes et al.* (2013) 165 genotípusból álló búza populáción végeztek térképezési munkákat, míg *Teulat et al.* (2001) munkájuk során a két szülővel együtt 189 árpa genotípust vizsgáltak. *Zhang et al.* (2011) a 154 genotípusból álló búza populációval dolgozott. A szárazságtűrés komplex tulajdonság, ezért a szűkítés során a szárazságtűrésben szerepet játszó fenotípus-jelleget igyekeztünk figyelembe venni és a szűkítést precízen, a megoszlási gyakoriság görbe normalitásának vizsgálata mellett hajtottuk végre.

Hoffman et al. (2006) szerint a szárazság stressz megnyilvánulásától (erősségtől, időtartamától, jelentkezésének időpontjától) függően, a növények számára előnyt jelenthet a korai kalászás és érés idő. A korai növények esetében nagy valószínűséggel „menekülés”-ről van szó, mert a termésérésük minél korábban befejeződik, az aszályos időszak alatt. A kalászás idő esetében a populációméret szűkítésénél az volt a cél, hogy a kiválasztott genotípusok lehetőleg minél korábban és egymáshoz képest viszonylag közeli időben kalászol-

janak. A 391 genotípus elsőként és utolsóként kalászoló növényei között 36 nap telt el (*1. ábra*). Ez a növények összehasonlítása szempontjából nem volt optimális, mert annyira különböző fenofázisban érték a genotípusokat az időjárási változások, hogy a teljesítményüket ez alapvetően befolyásolta. A szűkítés során a célunk az volt, hogy a genotípusok között lévő kalászolási időbeni nagy különbséget lecsökkentsük. Ha túl nagy a kalászolási időben a különbség, a genotipizálás során, könnyen kalászolási idővel kapcsolatos összefüggéseket találunk majd, amit szeretnénk elkerülni. Igyekeztünk a populációban a korai és közepes kalászolási idővel rendelkező DH genotípusokat kiválasztani, ahogyan tette ezt *Maphosa et al.* (2013) is. A szűkített populáció kalászolási amplitúdója harmada a teljes populációnak, összesen 13 nap.

Minden agronómiai tulajdonság közül a legfontosabb – főleg a gyakorlati kutatók számára – a szemtermés. A búza esetében a termőképesség alapvetően fontos mennyiségi mutató. Azt a genotípust tekinthetjük szárazságtűrőnek, amelynek termőképessége szárazság hatására a legkisebb mértékben csökkent (*Cseuz* 2009). A szűkítés során a célunk az volt, hogy minél több olyan genotípus maradjon a populációban, mely különbözőképpen reagál a vízhiányra. Ezt a szélső értékek, illetve a normál eloszlás megtartásával szerettük volna elérni, melyet a 'három szigma szabállyal' ellenőriztünk (*Závoti* 2010).

A termésmennyiség döntően a genotípus függvénye, mely egyrészt a potenciális termőképességet, másrészt a környezeti hatásokra bekövetkező változást is meghatározta. A búza esetében, az ezerszemtömeg fontos termésmennyiséget kialakító komponens. A populáció szűkítésekor e tulajdonság esetében is a célunk megegyezett a szemtermésnél említettel. Azt szerettük volna, hogy a szűkített populációban jelen legyenek olyan genotípusok, melyek ezerszemtömegben különbözőképpen reagálnak a vízhiányra. A normalitást ebben az esetben is a 'három szigma szabállyal' vizsgáltuk (*Závoti* 2010).

A növénymagasság fontos szerepet tölt be a szárazságtűrésben, lévén a magasabb növényeknek általában a gyökérzetük is nagyobb, mélyebbre hatoló. Ezért a szárazságban történő túlélésük általában jobb. A vélemények a száraz körülmények között termelt búza optimális magasságáról meglehetősen különbözőek. *Borrel et al.* (1993) szerint optimális körülmények között a magas szárnak semmilyen előnye nincs. Míg mások szerint a magas szár, mint raktározó szerv előnyös lehet bizonyos körülmények között (*Hoffmann et al.* 2009). Magyarországon az évi csapadékmennyiség egyenlőtlen eloszlása miatt a túl-

zottan magas növények megdőlhettek, ami a betakarítást és esetünkben pedig a fenotipizálást megnehezíti. Ezért a populáció szűkítésekor igyekeztünk kiszűrni az 1 méternél magasabb genotípusokat.

Dolgozatunkban arra törekedtünk, hogy bemutassuk a 'PlainsmanV./Cappelle Desprez' DH térképezési populáció méretének leszűkítési kísérleteit. Végeredményben a négyszázat megközelítő populációméretet, 137 egyedet magába foglaló populációra szűkítettük le úgy, hogy a gyakorisági görbe normalitása nem változott meg. A populáció fenotipizálását tovább folytatjuk, a genotipizálás érdekében.

Köszönetnyilvánítás

Köszönetünket fejezzük a „BIOCEREAL” projektnek – HUSRB/1002/214/045 – ami a fenotipizálási munkákat támogatta. Személyes köszönetet mondunk Kiss Erzsébet professzor asszonynak, aki a témából készült záró dolgozat (SZIE) belső témavezetője volt. Köszönetet mondunk dr. Lantos Csabának és Vajasdi-Nagy Sándornak a kísérletekhez adott szíves támogatásért.

IRODALOM

- Bennett, D.–Izandro, A.–Reynolds, M.–Kuchel, H.–Langridge, P.–Schuenbusch, T.: 2012. Genetic dissection of grain yield and physical grain quality in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) under water limited environments. *Theoretical and Applied Genetics*. 125. 2: 255–271.
- Bhatnagar-Mathur, P.–Vadez, V.–Sharma, K. K.: 2008. Transgenic approaches for abiotic stress tolerance in plants: retrospect and prospects. *Plant Cell Reports*. 27. 3: 411–424.
- Blum, A.: 2009. Effective use of water (EUW) and not water-use efficiency (WUE) in the target of crop yield improvement under drought stress. *Field Crops Research*. 112. 2–3: 199–123.
- Borrel, A. K.–Incoll, L. D.–Dalling, M. J.: 1993. The influence of the *Rht1* and *Rht2* alleles on the deposition and use of sterm reserves in wheat. *Annals of Botany*. 71: 317–326.
- Cattivelli, L.–Rizza, F.–Badeck, F. W.–Mazzucotelli, E.–Mastrangelo, M. A.–Francia, E.–Maré C.–Tondelli, A.–Stanca, M. A.: 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 105. 1–2: 1–14.
- Cseuz L.: 2009. A szárazságtűrő őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nemesítésének lehetőségei és korlátai. Doktori PhD értekezés. Szent István Egyetem. Gödöllő. 125.

- Cseuz L.–Matuz J.: 2012. Búzanemesítési célok és módszerek a jövő évtizedek növénytermesztési feladataihoz. 54. Georgikon Napok. 2012. október 11–12. Keszthely. 97–111.
- Galiba G.–Tóth B.: 2006. A búzagének térképezése: molekuláris markerek és kvantitatív tulajdonságokért felelős kromoszómaregiók (QTLs). [In: Dudits D. (szerk.) A búza nemesítésének tudománya – A funkcionális genomikától a vetőmagig.] MTA Szegedi Biológiai Központ – Winter Fair Kft. Szeged. 334.
- Heszky L.: 2012. Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? 1. – A növény és a víz kapcsolata. Agroforum. 23. 10: 6–10.
- Hoffmann B.–Cseuz L.–Pauk J.: 2006. Az őszi búza szárazságtűrésre történő nemesítésének lehetőségei és korlátai. [In: Dudits D. (szerk.) A búza nemesítésének tudománya – A funkcionális genomikától a vetőmagig.] MTA Szegedi Biológiai Központ – Winter Fair Kft. Szeged. 334.
- Islam, T. M.–Sedgely, R. H.: 1981. Evidence for 'uniculm' effect in spring wheat (*Triticum aestivum* L) in Mediterranean environment. Euphytica. 30. 2: 277–282.
- Lopes, S. M.–Reynolds, M. P.–McIntyre, C. L.–Mathews, K. L.–Kamali, M. R. J.–Mossad, M.–Feltaous, Y.–Tahir, I. S. A.–Chatrath, R.–Ogbonnaya, F.–Baum, M.: 2013. QTL for yield and associated traits in the Seri/Babax population grown across several environments in Mexico, in the West Asia, North Africa and South Asia regions. Theoretical and Applied Genetics. 126. 4: 971–984.
- Maphosa, L.–Langridge, P.–Taylor, H.–Chalmers, K. J.–Bennett, D.–Kuchel, H.–Mather, D. E.: 2013. Genetic control of processing quality in a bread wheat mapping population grown in water-limited environments. Journal of Cereal Science. 57. 3: 304–311.
- Mir, R. R.–Zaman-Allah, M.–Sreenivasulu, N.–Trethowan, R.–Varshney, R. K.: 2012. Integrated genomics, physiology and breeding approaches for improving drought tolerance in crops. Theoretical and Applied Genetics. 125. 5: 625–645.
- Morgan, J. M.: 1984. Osmoregulation and water stress in higher plants. Annual Review of Plant Physiology. 35: 299–315.
- Ober, E. S.–Clark, C. J. A.–Le Bloa, M.–Royal, A.–Jaggard, K.–Pigeon, J. D.: 2004. Assessing the genetic resources to improve drought tolerance in sugar beet, agronomic traits of diverse genotypes under drought and irrigated conditions. Field Crops Research. 90. 2–3: 213–234.
- Pantuwan, G.–Fukai, S.–Cooper, M.–Rajatasereekul, S.–O'Tolle, J. C.: 2002. Yield response of rice (*Oryza sativa* L.) genotypes to different types of drought under rainfed lowlands. Part 1. Grain yield and yield components. Field Crops Research. 73. 2: 153–168.
- Passioura, J. B.: 1996. Drought and drought tolerance. Plant Growth Regulation. 20. 2: 79–83.
- Pigeon, J. D.–Ober, E. S.–Qi, A.–Clark, C. J. A.–Royal, A.–Jaggard, K. W.: 2006. Using multi-environment sugar beet variety trials to screen drought tolerance. Field Crops Research. 95. 2–3: 268–279.
- Richards, R. A.–Condon, A. G.–Rebetzke, G. J.: 2001. Traits to Improve yield in dry environmental. [In: Reynolds, M. P. et al. (eds.) Application of physiology in wheat breeding.] International Maize and Wheat Improvement Center–CIMMYT. Mexico. 240.

- Rizza, F.–Badeck, F. W.–Cattivelli, C.–Destri, O. D.–Fonzo, N.–Sanca, A. M.: 2004. Use of a water stress index to identify barley genotypes adapted to rainfed and irrigated conditions. *Crop Science*. 44. 6: 2127–2137.
- Salem, K. F. M.–Röder, M. S.–Bröner, A.: 2007. Identification and mapping quantitative trait loci for stem reserve mobilisation in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Cereal Res. Commun.* 35. 3: 1367–1374.
- Streda, T.–Dostál, V.–Horáková, V.–Choupek, O.: 2012. Effective use of water by wheat varieties with different root system sizes in rain-fed experiments in Central Europe. *Agricultural Water Management*. 104(C): 203–209.
- Suzuky Pinto, R.–Reynolds, M. P.–Mathews, K. L.–McIntyre, C. L.: 2010. Heat and drought adaptive QTL in a wheat population designed to minimize confounding agronomic effects. *Theoretical and Applied Genetics*. 121. 6: 1001–1021.
- Tanács, L.–Bartók, T.–Matuz, J.–Kovács, K.–Gerő, L.–Harmati, I.: 1992. Effect of NPK fertilization on the amino acid composition of wheat seeds I. *Cereal Res. Commun.* 20. 3–4: 257–262.
- Tanács, L.–Matuz, J.–Bartók, T.–Gerő, L.: 1995. Effect of NPK fertilization on the amino acid composition of wheat seeds II. *Cereal Res. Commun.* 23. 4: 403–409.
- Teulat, B.–Borries, C.–This, D.: 2001. New QTL-s identified for plant water status, water-soluble carbohydrate and osmotic adjustment in barley population grown in a growth-chamber under two water regimes. *Theoretical and Applied Genetics*. 103 1: 774–787.
- Uang, B. E.–Clifford, D.–Cavanagh, C.: 2013. Selecting subsets of genotyped experimental populations for phenotyping to maximize genetic diversity. *Theoretical and Applied Genetics*. 126. 2: 379–388.
- Venora, D.–Calcagno, F.: 1991. Influence of the vascular system in *Triticum durum* Desf. On drought adaptation. *Cereal Res. Commun.* 19. 3: 319–327.
- Závoti J.: 2010. Nevezetes valószínűség eloszlások. *Matematika III*. http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_MA3-5/ch01s03.html 2013. október.
- Zhang, J.–Hao, C.–Ren, Q.–Chang, X.–Liu, G.–Jing, R.: 2011. Association mapping of dynamic developmental plant height in common wheat. *Planta*. 234. 5: 891–902.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Nagy Éva
Szent István Egyetem MKK
Genetika és Biotechnológia Intézet
Gödöllő
Páter K. u. 1.
H-2103

Dr. Pauk János
Gabonakutató Nonprofit Kft.
Búza-Biotechnológia Osztály
Szeged
Alsó kikötősor 9.
H-6726

Az agrotechnikai elemek szerepe az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termesztésében

PEPÓ PÉTER – CSAJBÓK JÓZSEF

Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Csernozjom talajon, 1983-ban beállított tartamkísérletben vizsgáltuk a legfontosabb agrotechnikai elemek (trágyázás, vetésváltás, növényvédelem, öntözés) hatását az őszi búza termésmennyiségére, terméstöbbletére. A kísérletben vizsgált időszak a 2004–2013 évek (10 év) voltak, amelyben eltérő évjáratok (száraz, átlagos, csapadékos) egyaránt előfordultak. A vizsgálat módszere a variancia komponensek felbontása volt. A tartamkísérletünk eredményei szerint a bikultúra vetésváltásban a műtrágya nélküli (kontroll) kezelésben a búza termése 2,33–2,86 t/ha, trikultúrában pedig 5,60–6,46 t/ha között változott. Optimális agrotechnikával a búza maximális termése bikultúrában 6,68–8,23 t/ha, trikultúrában 7,39–9,00 t/ha értékre nőtt. A variancia komponensek felosztása vizsgálati módszer alkalmazása azt bizonyította, hogy az egyes agrotechnikai tényezők búza termésére gyakorolt hatása jelentősen különbözött évjárattól és vetésváltástól függően. Vizsgálataink szerint a trágyázásnak 50%, a vetésváltásnak 28%, a növényvédelemnek 16%, az öntözésnek 2% volt a búza terméstöbbletére gyakorolt hatása.

Kulcsszavak: őszi búza, tartamkísérlet, agrotechnikai elemek, termés

The role of agrotechnical elements in the production of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)

P. PEPÓ – J. CSAJBÓK

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Debrecen

Summary

The impact of the main agrotechnical elements (fertilisation, crop rotation, crop protection, irrigation) of a long-term experiment established on chernozem soil in 1983 on the yield and yield surplus of winter wheat was observed. The examined period of the experiment was 2004–2013 (10 years), during which there were different crop years (dry, average, wet). The method of examination was the decomposition of variance components. According to the results of the long-term experiment, the yield of wheat in the non-fertilised (control) treatment in biculture crop rotation was 2.33–2.86 t ha⁻¹, while it was 5.60–6.46 t ha⁻¹ in triculture. Using optimal agrotechnics, the maximum yield of wheat increased to 6.68–8.23 t ha⁻¹ in biculture and 7.39–9.00 t ha⁻¹ in triculture. The method of decomposing variance components showed that the impact of each agrotechnical factor on wheat greatly different depending on the given crop year and crop rotation. The following impacts on wheat yield surplus were observed during the performed examinations: fertilisation: 50%, crop rotation: 28%, crop protection: 16%, irrigation: 2%.

Key words: winter wheat, long-term experiment, agrotechnical elements, yield

Роль агротехнических элементов в выращивании озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.)

П. ПЕПО – Я. ЧАИБОК

Дебреценский Университет, Сельскохозяйственный и Пищевой Факультет,
Институт Растениеводства, Дебрецен

Резюме

В установленном на чернозёмной почве в 1983 году продолжительном опыте исследовали влияние наиболее важных агротехнических элементов (удобрение, севомен, защита растений, орошение) на величину урожая озимой пшеницы, на прибавку урожая. Исследованный в опыте период времени были 2004–2013 годы (10 лет), во время которого в равной мере были разные годы выращивания (сухой, обычный, влажный). Методом исследования было выделение вариантных компонентов. Согласно результатам нашего продолжительного опыта в двухкультурном севомене в обработке без искусственного удобрения (контроль) урожай пшеницы 2,33–2,86 t/ha, а в трёхкультурном севомене изменялся в рамках 5,60–6,46 t/ha. С оптимальной агротехникой максимальный урожай пшеницы в двухкультуре вырос до величин 6,68–8,23 t/ha, в трёхкультуре до 7,39–9,00 t/ha. Использование исследовательского метода выделения вариантных компонентов подтвердило то, что оказанное на урожай пшеницы влияние отдельных агротехнических факторов значительно отличалось в зависимости от года выращивания и севомена. Согласно нашим исследованиям удобрение на 50%, севомен на 28%, защита растений на 16%, орошение на 2% оказывали влияние на прибавку урожая пшеницы.

Ключевые слова: озимая пшеница, продолжительный опыт, агротехнические элементы, урожай

Bevezetés

A búza második legnagyobb területen termesztett növényünk a szántóföldön. Meghatározó jelentőségű növényi kultúra, melyet a legkülönbözőbb ökológiai és agrotechnikai feltételek mellett termesztenek hazánkban (*Molnarova* és

Pepó 2010). A búza termésmennyiségét részben az agroökológiai körülmények (évjárat, talaj), részben a fajta, részben az alkalmazott agrotechnikai műveletek szintje, intenzitása, ill. a végrehajtás minősége határozza meg (Bocz *et al.* 1983, Pepó 2000a). A búza termésmennyiségét jelentősen befolyásolhatja a vetés-váltás, az elővetemény. Az elővetemény nem csak a termésszintet határozza meg, hanem jelentős hatással lehet más agrotechnikai elemekre (tápanyag-ellátás, növényvédelem stb.), azok hatékonyságára is (Hornok és Pepó 2007, Pepó 2009). A búza természetstechnológiájában kulcsfontosságú agrotechnikai elem a tápanyagellátás, a trágyázás (Jolánkai 1982, Ruzsányi 1991, Berzsényi 1993, Bocz és Pepó 1995). A búza tápanyagigényes, a trágyázással kijuttatott tápanyagokat jól hasznosító növényi kultúra. A búza mind a tápanyaghiányt, mind a túlzott tápanyag mennyiséget jól jelző növényi kultúra (indikátor növény). A búza tápanyagellátása során alapvető szempont a tápanyagok harmonikus visszaforgatása. A kijuttatott tápanyagok hatékony érvényesülését részben az agroökológiai feltételek (Kovacevic *et al.* 2009), részben az alkalmazott genotípus (Pepó 1994, 2007), részben az agrotechnikai elemek (vetés-váltás, öntözés, növényvédelem stb.) befolyásolhatják. Ugyancsak fontos agrotechnikai elem a búza termésmennyisége szempontjából a növényvédelem, elsősorban a megfelelő állományvédelem a különböző szár-, levél- és kalászbetegségekkel szemben (Pepó 2000b). Az alkalmazott fungicidkezelések hatékonyságát az évjárat jellege, a fajta betegség-toleranciája, az alkalmazott agrotechnika egyaránt módosíthatja.

A búza relatíve kedvező klimatikus toleranciája miatt nem tartozik az öntözést megháláló növények csoportjába. Még aszályos évjáratban is viszonylag mérsékelt öntözési terméstoppleletet adott az őszi búza (Pepó *et al.* 1989). Extrem száraz évjáratban azonban indokolt lehet a búza öntözését elvégezni az állományok életben tartása céljából.

A búza természetstechnológiájában az ökológiai, genetikai és agrotechnikai tényezők nem külön-külön fejtik ki hatásukat, hanem a tényezők között szoros, eltérő irányú (pozitív és negatív), és mértékű interaktív kölcsönhatások léteznek (Pepó 2006, Mengistu *et al.* 2010). Ezek a kölcsönhatások – a rendszer összetettsége, bonyolultsága miatt – hosszabb időtartam alatt, egzakt módon beállított tartamkísérletekben vizsgálhatók megbízhatóan. Ilyen tartamkísérlet tíz éves (2004–2013) eredményeit dolgoztuk fel és elemezzük tudományos közleményünkben.

Anyag és módszer

A tartamkísérlet beállítása 1983. évben történt mészelepédes csernozjom talajon. A tartamkísérlet Debrecentől 15 km-re, a Hajdúságban található (ész. $47^{\circ} 33'$, k.h. $21^{\circ} 27'$). A kísérlet beállításakor végzett kiindulási talajvizsgálati eredmények azt bizonyították, hogy a csernozjom talaj fizikai és kémiai tulajdonságai (1. táblázat), valamint vízgazdálkodási paraméterei (2. táblázat) rendkívül kedvezőek.

A kísérleti terület művelt rétegének a humusztartalma 2,6–2,8%, a talaj $\text{pH}_{\text{KCl}}=6,36\text{--}6,58$, azaz csak enyhén savanyú. A talaj kedvező N-szolgáltató képességű, az AL-oldható P_2O_5 tartalma közepes (133 mg/kg), az AL-oldható K_2O tartalma pedig jó (240 mg/kg). A csernozjom talaj tápanyagellátottsága (N, P_2O_5 , K_2O) jelentősen változott az elmúlt évtizedek alatt a tartamkísérletekben alkalmazott agrotechnikai elemek (trágyázás, öntözés, vetésváltás) hatására. A kísérlet talaja kedvező talajfizikai tulajdonságokkal (középkötött, vályog típus) jellemezhető. A talaj vízgazdálkodási tulajdonságai (2. táblázat) kedvező vízbefogadó és jelentős víztartó képességet bizonyítanak. A tartamkísérletben termesztett növények vízellátása szempontjából mértékadó talajszelvényben (0–2 m) a talaj mintegy 600–700 mm vizet képes megtartani, tárolni, amelynek kb. 65%-a a diszponibilis víz mennyisége. A kísérleti területen a talajvíz átlagos mélysége 3–5 m, amely miatt a növények vízellátásában csak mérsékelt szerepet játszik.

A tartamkísérletben az őszi búza termésmennyisége szempontjából legfontosabb agrotechnikai elemek vizsgálatát végezzük, melyek a következők:

– Vetésváltás:

bikultúra: búza – kukorica vetésváltás évenként,

trikultúra: borsó – búza – kukorica vetési sorrend.

– Trágyázás:

5 tápanyagkezelés: kontroll, alap dózis $\text{N}=50$ kg/ha, $\text{P}_2\text{O}_5=35$ kg/ha, $\text{K}_2\text{O}=40$ kg/ha, valamint az alap dózis 2, 3, 4-szeres mennyisége. A műtrágyák közül a foszfor és kálium mennyiségének 100%-át, a nitrogénnek 50%-át összettel juttatjuk ki. A maradék 50% nitrogént koratavasszal fejtrágyaként alkalmaztuk.

1. táblázat. A kísérletti terület talajvizsgálatti adatait
(Debrecen)

Talaj- réteg (cm)	pH (KCl)	K _A (3)	CaCO ₃ (%)	Hu- musz (%)	Össz. N (%)	NO ₃ + NO ₂ (mg/kg)	P ₂ O ₅		Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	So ₄ (mg/kg)
							(8)	(9)						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	AL oldható (mg/kg)		(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
							(8)		(9)					
0-25	6,46	43,0	0	2,76	0,150	6,20	133,4	239,8	332,4	38,0	2,80	5,86	438	9,25
25-50	6,36	44,6	0	2,16	0,120	1,74	48,0	173,6	405,4	66,2	0,80	4,54	406	9,13
50-75	6,58	47,6	0	1,52	0,086	0,60	40,4	123,0	366,6	55,4	0,58	3,64	339	10,80
75-100	7,27	46,6	10,25	0,90	0,083	1,92	39,8	93,6	249,0	67,8	0,48	2,24	74	7,95
100-130	7,36	45,4	12,75	0,59	0,078	1,78	31,6	78,0	286,6	62,6	0,84	1,64	4	22,98

Table 1. Soil parameters of long-term experiment (Debrecen). (1) Soil layer (cm), (2) pH_{KCl}, (3) Physical trait, (4) CaCO₃ (%), (5) Humus content (%), (6) Total N (%), (7) NO₃+NO₂ (mg kg⁻¹), (8) AL-soluble P₂O₅ (mg kg⁻¹), (9) AL-soluble K₂O (mg kg⁻¹), (10) Mg content (mg kg⁻¹), (11) Na content (mg kg⁻¹), (12) Zn content (mg kg⁻¹), (13) Cu content (mg kg⁻¹), (14) Mn content (mg kg⁻¹), (15) SO₄-content (mg kg⁻¹).

2. táblázat. A kísérleti terület talajának vizsgázálkódását jellemző mutatók (Debrecen)

Talajréteg (cm) (1)	Térfogat- tömeg (g/cm ³) (2)	Pórus térfogat (P %) (3)	Gravitációs pórustér + levegőzárvány (Pg+I %) (4)	Minimális vízkapacitás (VK _{min} %) (5)	Holtvíztartalom (HV %) (6)	hy (%) (7)
5-25	1,433	45,93	11,53	33,65	15,55	2,715
27-33	1,410	46,73	7,05	37,75	15,70	2,783
47-53	1,275	51,90	12,50	36,87	14,75	2,755
97-103	1,285	51,55	8,73	40,93	11,13	2,168
122-128	1,268	52,20	7,23	43,10	9,38	1,853
147-153	1,268	52,13	6,68	43,95	9,03	1,778
197-203	1,230	53,70	6,30	46,00	8,50	1,690

Table 2. Water management traits of long-term experiment soil (Debrecen). (1) Soil layer (cm), (2) Bulk density (g cm⁻³), (3) Porosity (P %), (4) Gravity water + air bubbles (Pg+I %), (5) Field capacity (VK_{min} %), (6) Wilting point (HV %), (7) Hygroscopic moisture content (%).

- Vízellátás:

három eltérő vízellátottsági változat szerepel a tartamkísérletben:

- öntözés nélkül (\ddot{O}_1),
- féladagú öntözés (a vízhiány 50%-át pótoljuk öntözéssel) (\ddot{O}_2),
- teljes adagú öntözés (a vízhiány 100%-át pótoljuk öntözéssel) (\ddot{O}_3).

- Növényvédelem:

a tartamkísérletben 3 eltérő intenzitású növényvédelmi modellt alkalmazunk, amelyek a fungicid használatban térnek el egymástól. Valamennyi növényvédelmi változatban egységes gyomirtást alkalmazunk minden évben, valamint az inszekticides védelem (évjárattól függően, ha szükséges) is azonos. A fungicid kezelések a kísérletben a következők:

- fungicides állományvédelem nélküli kontrollkezelés (extenzív),
- egyszeri fungicides (virágzás kezdete) állományvédelem (átlagos),
- kétszeri fungicides (2–3 nóduszos állapotban, virágzás kezdete) állományvédelem (intenzív).

A többi agrotechnikai elem esetében egységes termesztéstechnológiát alkalmaztunk a tartamkísérletben, amely megfelelt a korszerű termesztés követelményeinek. A tartamkísérletben 2004–2010. évek között az Mv Pálma, 2011–2013. években pedig a GK Csillag fajta szerepelt.

Az őszi búza vegetatív és generatív fejlődése, termésképződése szempontjából a vizsgált 10 év (2004–2013) időjárása jelentős mértékben különbözött egymástól. Az időjárási anomáliákat (elsősorban a vízellátásban) a kiváló vízgazdálkodású csernozjom talaj részben kompenzálni tudta. Ennek megfelelően az őszi búza tartamkísérlet 10 éve alatt öntözést csak 2 igen száraz évjárásban alkalmaztunk, az alábbiak szerint:

Év	\ddot{O}_1	\ddot{O}_2	\ddot{O}_3
2007	0 mm	25 mm (04. 23.)	50 mm (04. 23.)
		25 mm (05. 23–24.)	50 mm (05. 23–24.)
2009	0 mm	25 mm (05. 01–03.)	50 mm (05. 01–03.)
		25 mm (05. 16–17.)	50 mm (05. 16–17.)

A tartamkísérlet elrendezése split-split-plot rendszerű, 4 ismétléssel. A kísérleti parcellák területe 46 m². A kísérletben vizsgált parcellák száma 360.

Terjedelmi korlátok miatt a vizsgált 10 év meteorológiai adatainak részletes közlésétől eltekintünk, csak az egyes években, a tenyészidőben (október–június), a téli félévben (október–február) és a búza termésképződése szempontjából kritikus időben (május–június) lehullott csapadék mennyiségét, valamint a tenyészidőszak (október–június) átlaghőmérsékletét közöljük a 30 éves átlagokkal együtt (3. táblázat).

3. táblázat. A vizsgált évek fontosabb agrometeorológiai paramétereit
(Debrecen, 2004–2013)

Év (1)	Tenyészidő csapadéka (okt.-jún.) (mm) (2)	Ősz+tél csapadéka (okt.-febr.) (mm) (3)	Kritikus hónapok csapadéka (máj.+jún.) (mm) (4)	Vegetáció átlag- hőmérséklete (okt.-jún.) (°C) (5)
2004	375,5	254,3	78,7	6,62
2005	410,4	226,2	130,1	6,66
2006	476,5	232,5	135,4	6,56
2007	208,6	119,5	76,8	9,98
2008	477,4	259,2	187,7	7,96
2009	329,8	203,8	116,7	8,69
2010	630,5	341,6	212,3	8,47
2011	340,9	314,3	74,3	7,03
2012	320,7	141,2	163,6	6,63
2013	480,2	199,9	99,5	7,72
30 éves átlag (6)	400,9	224,7	138,3	6,93

Table 3. Some important agrometeorological parameters in the experimental years (Debrecen). (1) Year, (2) Rainfall in vegetation period (Oct.-June, mm), (3) Rainfall in autumn+winter (Oct.-Febr., mm), (4) Rainfall in critical months (May+June, mm), (5) Average temperature in vegetation period (Oct.-June, °C), (6) 30-year average

Az egyes kísérleti évek terméseredményeinek értékelését variancia-analízissel (SPSS for Windows 13.0) végeztük el. A vizsgált agrotechnikai tényezők, valamint az évjárat hatásának a számszerűsítésére, a terméstöbbletek kialakításában történő hozzájárulásuk, arányuk mértékének a meghatározására a variancia-komponensek felbontásának a módszerét alkalmaztuk.

Eredmények

Az őszi búza termésmennyiségét az ökológiai feltételek (időjárás, talaj), a biológiai tényezők (fajta), valamint az agrotechnikai elemek együttesen határozzák meg. Tartamkísérletünkben az agrotechnikai elemek közül azok szerepelnek, amelyek döntő jelentőségűek lehetnek a búza állományfejlődése, termés képződése szempontjából. Az 1983. évben beállított tartamkísérletben egységesen alkalmaztuk az agrotechnikai elemek közül a talajművelést, a vetéstechnológiát és a betakarítást. A kísérletben vizsgált agrotechnikai elemek (vetésváltás, trágyázás, öntözés, növényvédelem) olyan kulcselemek, amelyek direkt és indirekt módon befolyásolják a búza termését. A búza esetében különösen jelentős hatással volt a termésszintre a vetésváltás. Ennek megfelelően, mivel a terméseredmények (3600 adat) részletes bemutatására nincs lehetőség az egyes évek terméseredményeit a két vetésváltásban (bikultúra, trikultúra) megbontva közöljük (4. táblázat). Ugyancsak jelentős hatással volt – elsősorban a bikultúrában – a tápanyagellátás. Öntözés a vizsgált 10 év során 2 évben volt. A növényvédelmi technológiák is módosították a búza termését, ezért e két, vizsgált tényező esetében az adott évben elért minimum-maximum értékeket közöljük a kontroll (trágyázás nélküli) és a termés maximumot adó NPK_{opt} műtrágyakezelésben (4. táblázat).

A vizsgált tíz év átlagában a búza terméseredményei bikultúra vetésváltásban 2,33–8,23 t/ha, trikultúra vetésváltásban pedig 5,60–9,00 t/ha között változtak. Igen jelentős volt a vetésváltás termésre gyakorolt hatása a műtrágya nélküli (kontroll) kezelésben. Bikultúrában (kukorica elővetemény – jelentős tápanyag- és vízfelhasználású növény) a termés 2,33–2,86 t/ha volt, míg trikultúrában (borsó elővetemény: mérsékelt vízfogyasztású, N-gazdagító, kedvező kultúrállapotot biztosító növény) a termések több mint kétszer nagyobbak (5,60–6,46 t/ha) voltak. Ennek megfelelően a műtrágyázás termésnövelő hatása is jelentősen különbözött a két vetésváltási rendszerben. A műtrágyázás hatására bikultúrában 4,3–5,4 t/ha, trikultúrában pedig 1,8–3,5 t/ha termés-többletet kaptunk.

Az egyes évek időjárása módosította mind a legkisebb, minimális, mind a legnagyobb, maximális termés nagyságát (4. táblázat). A legkisebb terméseredményeket (kontroll=műtrágya nélkül) az átlagosnál szárazabb (2013. évben, 1,3–1,7 t/ha), és a kifejezetten aszályos (2007. évben 1,7–2,6 t/ha) évjáratban kaptuk bikultúra vetésváltásban.

4. táblázat. Az évjárat, a vetésváltás és a trágyázás hatása az őszi búza termésére –
 Növényvédelmi és öntözési kezelések minimum–maximum értékei
 (Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)

Év (1)	Műtrágya kezelés (2)	Bikultúra	Trikultúra
		(3)	(4)
		Min.–Max. (5)	
		Termés (t/ha) (6)	
2004	∅	2,4–2,9	6,1–7,2
	NPK _{opt}	7,0–7,7	7,5–9,4
2005	∅	3,2–3,7	7,1–8,1
	NPK _{opt}	7,7–8,9	8,0–9,3
2006	∅	2,3–2,7	4,9–5,8
	NPK _{opt}	6,1–7,7	5,9–7,6
2007	∅	1,7–2,6	4,6–5,3
	NPK _{opt}	5,0–8,1	6,6–8,7
2008	∅	2,9–3,3	6,8–7,4
	NPK _{opt}	6,5–7,7	7,3–8,8
2009	∅	2,5–3,4	7,2–8,1
	NPK _{opt}	7,2–9,8	8,9–10,6
2010	∅	2,9–3,3	4,2–5,9
	NPK _{opt}	4,2–6,2	5,0–7,3
2011	∅	1,8–2,3	6,1–6,6
	NPK _{opt}	7,5–8,7	9,3–10,4
2012	∅	2,3–2,7	4,7–5,3
	NPK _{opt}	7,7–8,7	7,4–8,7
2013	∅	1,3–1,7	4,3–4,9
	NPK _{opt}	7,9–8,8	8,0–9,2
Átlag (7)	∅	2,33–2,86	5,60–6,46
	NPK _{opt}	6,68–8,23	7,39–9,00

Table 4. Effect of cropyear, crop rotation and fertilization on the yield of winter wheat – Minimum and maximum yields of crop protection and irrigation treatments (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Year, (2) Fertilizer treatment, (3) Biculture, (4) Triculture, (5) Minimum and maximum yields, (6) Yield t ha⁻¹, (7) Average

Trikultúra vetésváltásban a kontroll (műtrágya nélküli) kezelés terméseredményei sokkal kedvezőbbek (4,2–8,1 t/ha évjáratától függően) voltak. Tri-kultúrában a csapadékos évjárat (2010. év) esetében a megdőlés és erőteljes infekció miatt volt mérsékeltőbb (4,2–5,9 t/ha) a termés a kontrollkezelésben. A vizsgált tíz évben a maximális termések a tri-kultúrában 7,3–10,6 t/ha, a bi-kultúrában 6,2–9,8 t/ha között változtak az optimális műtrágyakezelésben. Bár a két vetésváltás közötti különbség megmaradt az optimális műtrágyakezelésben, de ez sokkal kisebb mértékű volt a megfelelő tápanyag ellátás következtében. Az optimális műtrágya adagokat az évjárat, az öntözés befolyásolta, de a vizsgált tíz év átlagában bi-kultúrában az $N_{150-200}+PK$, tri-kultúrában pedig az $N_{100-150}+PK$ kezelés bizonyult optimálisnak. A tartamkísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy az agrotechnikai tényezők megfelelő összehangolásával, harmonizációjával bi-kultúrában a búza termésmaximuma 6–8 t/ha, tri-kultúrában pedig 7–9 t/ha intervallumban tartható.

A variancia komponensek felbontásának statisztikai módszerével értékeltük az egyes agrotechnikai tényezők relatív (%) és abszolút (kg/ha) hatását a búza termésmennyiségére. Az értékelést elvégeztük a kétféle vetésváltási rendszerben külön-külön. Az 5. táblázat a bi-kultúra, a 6. táblázat a tri-kultúra vetésváltásban kapott eredményeket tartalmazza. Bár az egyes agrotechnikai tényezők hatását az évjáratok módosították, befolyásolták, mégis néhány általános tendencia a vizsgálati adatokból megállapítható. Öntözés a vizsgált időszakban csak két évben, 2007-ben és 2009-ben volt. Ennek megfelelően ebben a két aszályos évjáratban az öntözésnek tulajdonított direkt hatás 19,66%, illetve 9,98% volt a búza terméseredményére. A többi évjáratban a vetésforgóban szereplő növények (kukorica, borsó) öntözésének utóhatása jelent meg, amelynek mértéke rendkívül mérsékelt volt (0,18–4,67%). A bi-kultúrában a növényvédelem termést befolyásoló hatása évjáratától függően változott. Legnagyobb mértékű a kifejezetten csapadékos 2010. évben volt a levél-, szár- és kalászbetegségek erőteljes megjelenése miatt (42,14% hatás). Átlagos vízellátottságú évjáratokban (2006. és 2008. évek) már mérsékeltőbb (18,78%, illetve 17,00%), de még fontos termést kialakító agrotechnikai faktorként jelent meg a növényvédelem. Átlagosnál szárazabb évjáratokban a növényvédelem hatása mérsékeltőbbnek bizonyult (8,37–11,27%). Bi-kultúrában az agrotechnikai tényezők közül a búza terméseredményére döntő hatással a tápanyagellátás, a trágyázás volt. Az egyes évjáratokban a trágyázás termést befolyásoló hatása 56,92% (2010. év) és 91,29% (2013. év) között változott.

5. táblázat. *Agrotechnikai tényezők hatása az őszi búza termésére
bikultúra vetésváltásban
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)*

Év (1)	Agrotechnikai tényezők terméstöbblete (2)							
	Öntözés (3)		Növényvédelem (4)		Trágyázás (5)		Összesen (6)	
	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)
	2004	4,67	332	8,87	630	86,46	6138	100,00
2005	2,82	178	10,63	668	86,55	5443	100,00	6289
2006	0,66	39	18,78	1101	80,56	4723	100,00	5863
2007	19,66	1340	9,52	649	70,82	4826	100,00	6815
2008	0,82	45	17,00	930	82,18	4497	100,00	5472
2009	9,98	795	11,27	898	78,75	6274	100,00	7966
2010	0,95	38	42,14	1696	56,92	2290	100,00	4024
2011	1,72	131	10,83	827	87,45	6677	100,00	7635
2012	0,18	13	10,47	767	89,35	6546	100,00	7326
2013	0,34	27	8,37	670	91,29	7313	100,00	8010

Table 5. Effect of agrotechnical elements on the yield of winter wheat in biculture crop rotation (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Year, (2) Yield surplus of agrotechnical elements, (3) Irrigation, (4) Crop protection, (5) Fertilization, (6) Total, (7) Relative (%), (8) Absolute (kg ha⁻¹)

A csapadékos 2010. évet leszámítva (ebben az évjáratban a növényvédelem szerepe az erőteljes infekció miatt jelentősen megnőtt) a trágyázásnak tulajdonított terméstöbblet a vizsgálati években 70–90% között változott.

Trikultúra vetésváltásban az egyes agrotechnikai tényezők szerepe módosult (6. táblázat). A trikultúrában szereplő növények (kukorica, borsó) termése öntözött körülmények között jelentősen nagyobb volt, amely nagyobb vízfogyasztást is eredményezett. Ez az oka annak, hogy az öntözés termést befolyásoló relatív hatása 2007. évben (23,63%) és 2009. évben (17,35%) is nagyobb volt, mint bikultúra vetésváltásban. A többi vizsgált évben az öntözés utóhatása ugyancsak mérsékelt (0,23–7,68%) volt a bikultúrához hasonlóan.

6. táblázat. *Agrotechnikai tényezők hatása az őszi búza termésére
trikultúra vetésváltásban
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)*

Év (1)	Agrotechnikai tényezők terméstöbblete (2)							
	Öntözés		Növényvédelem		Trágyázás		Összesen	
	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)	Relatív (%) (7)	Abszolút (kg/ha) (8)
2004	7,68	317	81,81	3379	10,50	434	100,00	4130
2005	5,20	158	48,58	1472	46,22	1400	100,00	3030
2006	3,72	137	45,72	1682	50,57	1861	100,00	3680
2007	23,63	1107	17,68	829	58,69	2750	100,00	4686
2008	0,23	11	45,68	2209	54,09	2615	100,00	4835
2009	17,35	709	41,71	1704	40,93	1673	100,00	4086
2010	0,78	30	81,53	3105	17,70	674	100,00	3809
2011	8,30	434	24,60	1287	67,10	3508	100,00	5229
2012	4,97	243	19,20	938	75,83	3706	100,00	4887
2013	3,10	177	16,77	955	80,13	4562	100,00	5694

Table 6. Effect of agrotechnical elements on the yield of winter wheat in triculture crop rotation (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Year, (2) Yield surplus of agrotechnical elements, (3) Irrigation, (4) Crop protection, (5) Fertilization, (6) Total, (7) Relative (%), (8) Absolute (kg ha⁻¹)

Trikultúra vetésváltásban a búza állományfejlettsége az eltérő évjáratokban – különösen a mérsékeltabb tápanyagadagoknál – sokkal kedvezőbb volt, mint a bikultúrában. Az állományok erőteljes vegetatív fejlettsége eredményezte azt, hogy a különböző kórokozók a tenyészidőszak korábbi szakaszaiban jelentek meg, valamint – megfelelő fungicides védelem nélkül – sokkal erőteljesebb fertőzöttséget hoztak létre, mint bikultúrában. Ezért a növényvédelem termésbefolyásoló hatása átlagos, vagy annál kedvezőbb vízellátottságú években (2004., 2005., 2006., 2008., 2009., 2010. évek) igen jelentős mértékű volt (45,72–81,81%). Szárazabb évjáratokban (2007., 2011., 2012., 2013. évek) a növényvédelem 16,77–24,60%-ban alakította, befolyásolta a terméstöbbletet. Trikultúrában a trágyázás szerepe szintén fontos volt, azonban a kedvező elő-

vetemény (borsó) miatt egyrészt mérsékeltebb volt, másrészt a trágyázás hatását az évjárat jelentősen befolyásolta (10,50–80,13% hatás). Szárazabb évjáratokban (2007., 2011., 2012. és 2013. évek) a csernozjom talaj tápanyagkészletének feltáródása és felvehetősége mérsékeltebb volt, így ezekben az években, a búza jelentősebb mértékben hasznosította, vette fel a műtrágyákkal kijuttatott tápanyagokat (58,62–80,13%).

Vetésváltási rendszerenként, az évjáratok átlagában is meghatároztuk az agrotechnikai elemek és évjárat hatását az őszi búza termésmnövekedésében (1. ábra).

1. ábra. Az évjárat és agrotechnika tényezők hatása a búza termésére eltérő vetésváltási rendszerekben
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)

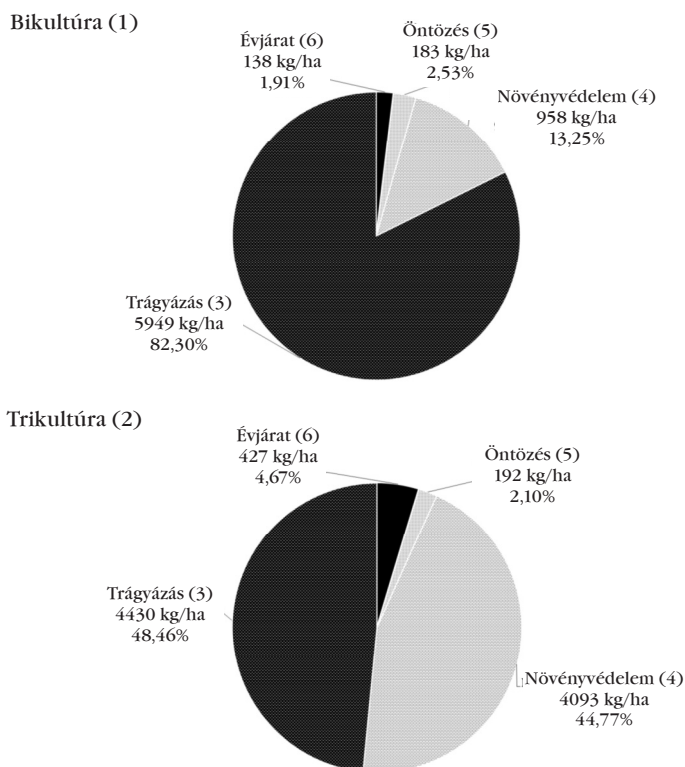


Figure 1. The impact of crop year and agrotechnical elements on winter wheat yield in different crop rotation systems (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Biculture, (2) Triculture, (3) Fertilization, (4) Crop protection, (5) Irrigation, (6) Crop year

A kísérleti adatok azt bizonyították, hogy a vizsgálati periódusban (2004–2013. év) az őszi búza termésére bikultúrában a trágyázás (82,30%) döntő, míg a növényvédelem (13,25%) kisebb hatással volt. Trikultúrában sokkal kiegyenlítettebb volt a trágyázás (48,45%) és a növényvédelem (44,77%) hatása a korábban ismertetett okok miatt. Az öntözés hatását is mérsékeltnak találtuk (bikultúrában 1,90%, trikultúra 4,67%), mert a különböző, egymástól jelentősen eltérő évjáratok kiegyenlítették a szélsőséges hatásokat.

Az egyes évjáratokban valamennyi vizsgált agrotechnikai elem őszi búza termésére gyakorolt hatását mutatja be a 7. táblázat. A csernozjom talajon végzett 10 éves tartamkísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy a vetésváltási változatok együttes értékelése esetén is a trágyázás hatása volt a legkifejezettebb. A trágyázás 26,74–75,54%-ban járult hozzá a termésmnövekedéshez.

7. táblázat. Az agrotechnikai tényezők szerepe a búzatermesztésben az egyes évjáratokban (Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)

Év (1)	Agrotechnikai tényezők termésmnövelő hatása (%)				
	(2)				
	Vetésváltás (3)	Öntözés (4)	Növényvédelem (5)	Trágyázás (6)	Összesen (7)
2004	37,75	3,42	17,89	40,94	100,00
2005	30,51	3,02	17,48	48,99	100,00
2006	21,34	0,74	22,64	55,28	100,00
2007	27,83	15,23	9,01	47,94	100,00
2008	35,12	0,44	37,70	26,47	100,00
2009	34,28	7,69	12,07	45,97	100,00
2010	30,53	0,15	41,08	28,24	100,00
2011	35,11	2,69	10,33	51,87	100,00
2012	10,38	1,63	12,44	75,54	100,00
2013	22,38	1,07	8,95	67,60	100,00

Table 7. Role of agrotechnical elements of wheat production in different crop years (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Year, (2) Yield increasement effect of agrotechnical elements (%), (3) Crop rotation, (4) Irrigation, (5) Crop protection, (6) Fertilization, (7) Total

Ezt azért fontos hangsúlyozni, mert a tartamkísérletet kedvező tápanyag-szolgáltatású csernozjom talajon folytattuk és az együttes értékelésben a trikul-túra (borsó) is szerepelt. Fontos termést kialakító agrotechnikai elem a vetés-váltás. Évektől függően a vetésváltás termést befolyásoló hatása 10,38–37,75% között változott. Az előző két agrotechnikai elemhez képest mérsékeltebb volt a növényvédelem hatása (8,95–41,08%), szerepe csak egyes, átlagosnál kedvezőbb vízellátottságú, jelentős infekciót mutató évjáratokban nőtt meg (2008. évben 37,70%, 2010. évben 41,08%).

A meteorológiai (évjárat) tényezők és az agrotechnikai (trágyázás, vetés-váltás, növényvédelem, öntözés) elemek együttes értékelésének eredményeit a vizsgált 10 éves periódusban a 2. ábra tartalmazza.

2. ábra. Az évjárat és az agrotechnika szerepe a búzatermesztésben
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)

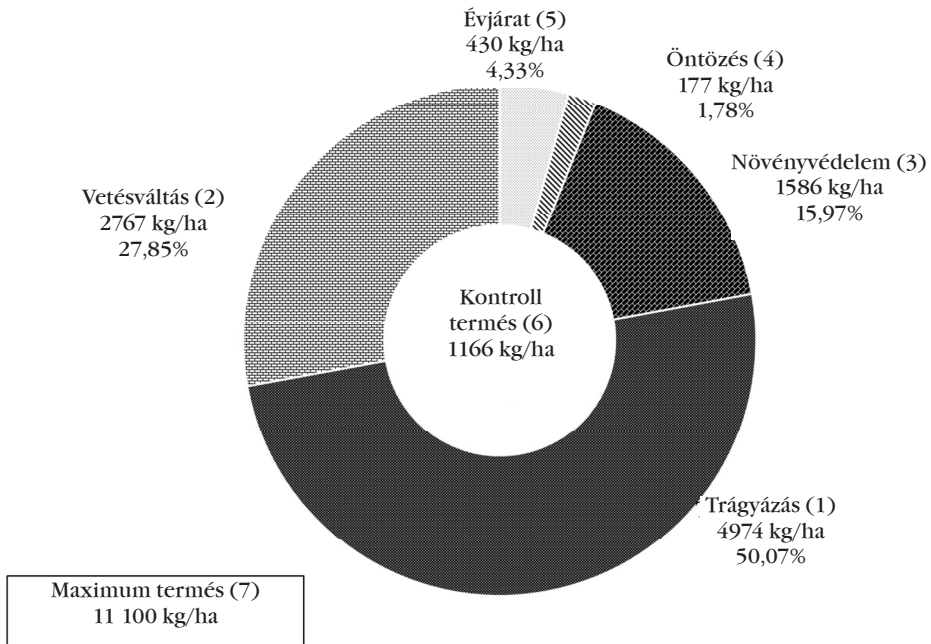


Figure 2. Role of cropyear and agrotechnical elements of wheat production (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Fertilization, (2) Crop rotation, (3) Crop protection, (4) Irrigation, (5) Cropyear, (6) Yield of control treatment, (7) Maximum yield

A vizsgálati eredményeink azt bizonyították, hogy az évjárat, de különösen az agrotechnikai tényezők jelentős mértékben befolyásolták az őszi búza termését. A vizsgálati időszak kontroll kezelésének termésminimuma 1166 kg/ha volt, amely az ökológiai és agrotechnikai tényezők együttes hatására, optimális feltételek mellett a 11100 kg/ha termésmaximumot érte el. A tartamkísérletben elért minimum és maximum termés közötti különbség 9934 kg/ha volt. Egyrészt a búza kedvező adaptációs képessége, másrészt a vizsgálati periódusban előforduló, egymástól jelentősen különböző évjáratok kiegyenlítő hatása miatt az évjárat a kontroll kezelés minimum termésének (1166 kg/ha) a növekményéhez relatíve szerény mértékben (4,33%, illetve 430 kg/ha) járult hozzá. A búza mérsékelt vízigénye, jó adaptációs képessége miatt 10 éves periódusban 2 évben végeztünk öntözést. A búza az öntözést még száraz évjáratban is relatíve mérsékelt terméstöbblettel hálálta meg (bikultúrában 1340 kg/ha, trikultúrában 1100 kg/ha öntözési többlet maximum). Az öntözés termésnövekményt befolyásoló hatása a vizsgálati periódusban 1,78% (177 kg/ha) volt. A búza állományokban a kórokozók megjelenésének mértékét elsősorban az évjárat jellege, másrészt a vetésváltás határozta meg. Így a növényvédelem jelentősége egyes, csapadékos évjáratokban és trikultúrában fontosabb, míg szárazabb évjáratokban és a bikultúrában mérsékeltőbb volt. Ezeket az ellentétes hatásokat fejezi ki a növényvédelem termést befolyásoló hatásának a mértéke, amely vizsgálataink szerint 15,97%, illetve 1586 kg/ha volt. A tartamkísérletben vizsgált agrotechnikai elemek közül a búza termésmennyiségét a legnagyobb mértékben a trágyázás befolyásolta (50,07%, illetve 4974 kg/ha). A trágyázás szerepe kiemelkedő volt bikultúrában, de ugyancsak a legfontosabb tényező volt trikultúrában is, bár termésbefolyásoló hatása mérsékeltőbb szinten jelent meg. A vizsgálati eredményeink azt bizonyították, hogy a trágyázás mellett kiemelten fontos szerepe van a vetésváltásnak (27,85%, illetve 2767 kg/ha) az őszi búza termesztésében. Ezt azért különösen fontos hangsúlyozni, mert a hazai vetésszerkezet diverzifikáltsága az elmúlt évtizedekben jelentős mértékben lecsökkent. A hazai növénytermesztést a gabonanövények (elsősorban a búza és a kukorica) túlsúlya jellemzi. A gabonafélék a szántóterület 67–69%-át foglalják el jelenleg. Megfelelő vetésváltással egyrészt a búza termésszintje növelhető, másrészt kevesebb input (műtrágya, növényvédő szer) felhasználására lenne szükség.

Következtetések

Az őszi búza termésmennyiségét számos agrotechnikai tényező befolyásolja, melyet az ökológiai feltételek módosítanak. Csernozjom talajon, 2004–2013. évek között (10 éves periódus) vizsgáltuk a vetésváltás (bikultúra, trikultúra), a trágyázás (5 tápanyagkezelés), a növényvédelem (extenzív, átlagos, intenzív) és az öntözés (3 vízellátottsági változat) hatását az őszi búza termésmennyiségére és a termésnövekedésében betöltött szerepére. Vizsgálati eredményeink szerint a búza termésszintjét a vetésváltás, azon belül pedig az alkalmazott műtrágya adagok alapvetően befolyásolták. Bikultúrában a műtrágya nélküli, kontrollkezelésben a termés 2,33–2,86 t/ha, trikultúrában pedig 5,60–6,46 t/ha között változott az évek átlagában. Az optimális NPK trágyázással a búza termése a vizsgált vetésváltási rendszerekben 6,68–8,23 t/ha, illetve 7,39–9,00 t/ha értékekre növekedett a 10 év átlagában. Optimális műtrágya adagnak bikultúrában az $N_{150-200}+PK$, trikultúrában pedig az $N_{100-150}+PK$ kezelés bizonyult, azaz az elővetemény megfelelő megválasztásával egyrészt csökkenteni lehetett az input (műtrágya) mennyiségét, másrészt 0,71–0,77 t/ha-ral nagyobb termést lehetett elérni. A műtrágyázás termésnövelő hatása bikultúrában 4,3–5,4 t/ha, trikultúrában 1,8–3,5 t/ha volt évjáratról függően. Az agrotechnikai tényezők optimalizálásával a búza termésmaximuma a kedvező évjáratban bikultúrában 7,2–9,8 t/ha (2009. év), trikultúrában 8,9–10,6 t/ha (2009. és 2011. évek) volt.

A variancia-komponensek felbontásával vetésváltásonként, valamint a vetésváltások átlagában értékeltük évjáratonként és a 10 éves periódusban az egyes agrotechnikai tényezők hatását az őszi búza termésnövekményére. A kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy az egyes vetésváltási rendszerekben az agrotechnikai elemek hatása eltérően érvényesült. Bikultúrában valamennyi évjáratban a trágyázásnak volt döntő hatása a termésmennyiségre (56,92–91,29% hatás évjáratról függően). A növényvédelem és az öntözés hatása erőteljesen függött az évjáratról (8,37–42,14%, illetve 0,18–19,66% hatás). Csapadékos évjáratban a növényvédelem jelentősége nőtt meg (2010. évben 42,14%), míg száraz évjáratokban jelentős volt az öntözés hatása (2007. évben 19,66%). Trikultúra vetésváltásban ugyancsak fontos volt a trágyázás hatása, de annak mértékét az adott évjárat vízellátottsága határozta meg. Csapadékos évjáratokban a trágyázás hatása mérsékelt volt (10,50–17,70% hatás 2004. és 2010. években), mert a kedvező elővetemény (borsó) és vízellátás miatt a csernoz-

jom talaj tápanyagkészletének nagyobb része tudott hasznosulni. Száraz években a trágyázás jelentősége megnőtt (67,10–80,13% 2011., 2012., 2013. évek), mert a búza a műtrágyák könnyebben felvehető tápanyagkészletét tudta jobban hasznosítani. Trikulturában a növényvédelem hatása (16,77–81,81%) sokkal erőteljesebben jelentkezett, mert a kedvezőbb állományfejlettség miatt a levél-, szár- és kalászbetegségek korábban és nagyobb mértékben jelentkeztek a búza állományokban a bikultúrához viszonyítva.

A tartamkísérletben vizsgált négy agrotechnikai elem együttes értékelése azt bizonyította, hogy a búza tápanyagigényes és a műtrágyákat jól hasznosító növényi kultúra. A trágyázás a búza terméstöbbletének kialakulásában 26,74–75,54%-ban vett részt évjáratról függően. A trágyázás hatása kedvezőbb vízelátottságú évjáratokban mérsékeltebb (26–28%), szárazabb évjáratokban jelentősebb (50–75%) volt. A második legfontosabb termést befolyásoló tényező a vetésváltás volt (10,38–37,75% évjáratról függően). Széles intervallumban változott a növényvédelem termésre gyakorolt hatása (8,95–41,08% évjáratról függően). Csapadékos évjáratban jelentős (40%), száraz évjáratban mérsékelt (9–10%) volt a növényvédelem hatása. Az agrotechnikai elemek közül a legkisebb hatása a búza termésére az öntözésnek volt (0,15–15,23% évjáratról függően). Ez egyrészt a búza kedvező adaptációs képességét, másrészt a búza relatív mérsékelt öntözési reakcióját bizonyította.

Az évjáratok (10 év) és az agrotechnikai elemek (4 elem) együttes értékelése azt mutatta, hogy a csernozjom talajon a búza termése 1166 kg/ha (minimum) és 11 100 kg/ha (maximum) között változott a vizsgált periódusban (2004–2013. évek). A búza termésnövekedésére (9934 kg/ha különbség a kontrolhoz viszonyítva) a legnagyobb hatása a trágyázásnak (50%) volt. Fontos a vetésváltás helyes kialakítása, amely kísérleteink szerint 28%-ban határozta meg a búza terméstöbbletét. A növényvédelemnek bizonyos évjáratban jelentős (csapadékos évek), más évjáratokban mérsékelt (száraz évek) volt a hatása. E kettős hatás eredményeként a növényvédelem a terméstöbblet kialakításában átlagosan 16%-kal vett részt. Az öntözés hatása a vizsgálataink szerint rendkívül mérsékelt (2%) volt a búza termésnövekedésében. A tíz vizsgálati év eltérő időjárásának egymást kiegyenlítő hatásai, az időjárási anomáliákat (elsősorban a szélsőséges vízellátást) a kiváló vízgazdálkodású csernozjom talaj kompenzáló effektusai miatt a vizsgált növénytermesztési rendszerben az évjárat csak kis mértékben (4%) befolyásolta a búza terméstöbbletét.

Kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy az egyes agrotechnikai elemek (trágyázás, vetésváltás, növényvédelem, öntözés) szerepe évjáratonként, vetésváltásonként eltérő mértékű. Az agrotechnikai elemek optimalizálásával az őszi búza termésmennyisége jelentősen növelhető. Az agrotechnikai elemek őszi búza terméstöbbletére gyakorolt hatásának mértéke csökkenő sorrendben a csernozjom talajon végzett tartamkísérletünkben a következő volt: trágyázás 50%, vetésváltás 28%, növényvédelem 16%, öntözés 2%.

Köszönetnyilvánítás

„A kutatás a TÁMOP 4.2.4.A/2-11-1-2012-0001 azonosító számú Nemzeti Kiválóság Program – Hazai hallgatói, illetve kutatói személyi támogatást biztosító rendszer kidolgozása és működtetése országos program című kiemelt projekt keretében zajlott. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósul meg.”

IRODALOM

- Berzsenyi Z.*: 1993. Növekedésanalízis a kukoricatermesztési kutatásokban. MTA Akadémiai doktori értekezés. Martonvásár.
- Bocz E.–Pepó P.*: 1985. Az őszi búza fajták trágyareakciójának vizsgálata csernozjom talajon. Növénytermelés. 34. 6: 481–493.
- Bocz E.–Pepó P.–Pepó P.*: 1983. A víz- és tápanyag szerepe a termésminőségben. Őszi búza. Magyar Mezőgazdaság. 38. 41: 8.
- Hornok M.–Pepó P.*: 2007. Az őszi búza terméseredményeinek értékelése bikultúra és trikultúra vetésváltásban, hajdúsági csernozjom talajon. Növénytermelés. 56. 5-6: 333–344.
- Jolánkai M.*: 1982. Őszi búzafajták tápanyag- és vízhasznosítása. PhD tézis. Martonvásár.
- Kovacevic, V.*: 2005. Wheat yield variations among the years in the Eastern Croatia. Proceedings of the XI. Croatian Symposium on Agriculture with International Participation. 15–18 February 2005. Opatija. Croatia. 453–454.
- Mengistu, N.–Baenziger, P. S.–Nelson, L. A.–Eskridge, K. M.–Klein, R. N.–Baltensperger, D. D.–Elmore, R. W.*: 2010. Grain yield performance and stability of cultivar blends vs. component cultivars of hard winter wheat in Nebraska. Crop Science. 50: 617–623.
- Molnarova, J.–Pepó, P. (eds.)*: 2010. Sustainable, environmental friendly field crops production in changing climate conditions (monograph). Slovak University of Agriculture in Nitra. 191.

- Pepó P.*: 2000a. A minőségi búzatermesztés genetikai alapjai. VI. Növénynemesítési Tudományos Napok. Budapest. 27.
- Pepó P.*: 2000b. Integrált védekezés őszi búzában. Magyar Mezőgazdaság. 55. 17: 14–16.
- Pepó P.*: 2004. Őszi búza tápanyagellátása a Hajdúságban. MTA doktori értekezés. Budapest. 228.
- Pepó P.*: 2006. Az őszi búza termesztésének helyzete, alternatív fejlesztési lehetőségek [In: Pepó Péter (szerk.) Búzavertikum aktuális kérdései.] Debrecen. 11–35.
- Pepó, P.*: 2007. Role of fertilization and genotype in sustainable winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. Cereal Res. Commun. 35. 2: 917–920.
- Pepó P.*: 2009. Az elővetemény és a tápanyagok hatása az őszi búza termésére. Agroforum. 20. 9: 14–16.
- Pepó P.–Bocz E.–Pepó P.*: 1989. A műtrágyázás és az öntözés interakciójának vizsgálata őszi búzánál. Növénytermelés. 38. 4: 299–306.
- Ruzsányi L.*: 1991. A növények elővetemény-hatásának értékelése vízháztartási szempontból. Növénytermelés. 40: 71–77.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Pepó Péter–Dr. Csajbók József
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

SZEMLE**Review****A búza (*Triticum aestivum* L.) tartalékfehérjéi, az ezek minőségét és mennyiségét befolyásoló ökológiai hatások, különös tekintettel a nitrogén tápanyag-ellátásra**

HORVÁTH CSABA

Szent István Egyetem, Növénytermesztési Intézet, Gödöllő

Összefoglalás

A búza a világ egyik legfontosabb és hazánk legjelentősebb kenyérgabonájaként az elmúlt évtizedekben a mezőgazdasággal foglalkozó kutatók figyelmének középpontjában volt, és várhatóan ez így marad a továbbiakban is. A búzával kapcsolatos tudományos kutatások közül a tartalékfehérjékkel kapcsolatos munkák számos eddig megválaszolatlan kérdést vetnek fel. Ezek közül talán az egyik legfontosabb a nitrogén tápanyag-ellátásának hatása a tartalékfehérjék tulajdonságaira. Az irodalom áttekintése során azonban világossá vált, hogy legalább egy-egy rövidebb bekezdés erejéig foglalkozni kell egyéb tényezők, mint az öntözés, hőmérséklet, egyéb tápanyagok, a genotípus, az évjárat minőségre gyakorolt hatásával is. Továbbá célszerű az utóbbi évtizedek adta lehetőség, a transzgenikus vonalak minőségbefolyásoló hatásával, és a mai világunkban oly aktuális környezetvédelmi és egészségügyi vonatkozásokkal foglalkozó kutatók egy jelentős részének tudományos eredményeit összefoglalni.

Kulcsszavak: *Triticum aestivum*, búza, tartalékfehérjék, gliadinok, gluteninek, műtrágyázás, nitrogén

The reserve proteins of wheat (*Triticum aestivum* L.) and the ecological impacts on their quality and quantity, with special regard to nitrogen supply

CS. HORVÁTH

Szent István University, Institute of Crop Sciences, Gödöllő

Summary

Wheat has been in the centre of attention of agricultural researchers for several decades as one of the most important cereal used for making bread, while it is the most significant crop in Hungary from this aspect. Of the scientific research dealing with wheat, analyses focusing on reserve proteins have raised numerous yet unanswered questions so far. One of the most important questions is the impact of nitrogen supply on the characteristics of reserve proteins. However, after the review of technical literature, it became obvious that it is necessary to deal with the impact of other factors, such as irrigation, temperature, other nutrients, genotype and crop year on quality at least to the extent of shorter paragraphs. Furthermore, it is important to summarise the scientific findings of a significant part of researchers dealing with the quality impacts of transgenic lines, an aspect which became possible in the in the recent decades, as well as the environmental protection and health care references which are rather topical nowadays.

Key words: *Triticum aestivum*, wheat, reserve proteines, glutenins, fertilisation, nitrogen

**Запасные белки пшеницы (*Triticum aestivum* L.),
и влияющие на их качество и количество экологические
воздействия, особенно учитывая обеспеченность
питательным веществом азота**

Ч. ХОРВАТ

Университет им. Святого Иштвана, Институт Растениеводства, Гёдёллэ

Резюме

Пшеница как одна из самых важных хлебных культур в мире и одна из самых значительных в Венгрии в прошедшие десятилетия была в центре внимания учёных, занимающихся сельским хозяйством, и можно ожидать, что это останется так и в дальнейшем. Среди связанных с пшеницей научных исследований работы, касающиеся запасных белков, выдвинули множество вопросов, на которые до сих пор нет ответа. Среди этих может быть самый важный – влияние обеспечения питательным веществом азота на свойства запасных белков. Однако, в ходе изучения литературы выяснилось, что по крайней мере в размере небольшого абзаца надо заниматься и влияниями прочих факторов, действующих на качество, таких как орошение, температура, другие питательные вещества, генотип, год выращивания. Также целесообразно обобщить научные результаты значительной части исследователей, занимающихся такими актуальными в наши дни экологическими и медицинскими аспектами и возникшей в последние десятилетия возможности влияния на качество трансгенных линий.

Ключевые слова: *Triticum aestivum*, пшеница, запасные белки, глиадины, глютенины, искусственное удобрение, азот

Bevezetés

A búza a világ egyik legfontosabb kenyérgabonája, az emberiség táplálkozásában világszerte döntő jelentőségű. A FAOSTAT adatai szerint ebből az élelmiszer-gabonából 2012-ben több mint 670 millió tonna termett világszerte (FAOSTAT

2012). A búzából készült kenyér a Föld minden részén alapvető élelmiszer, mert jóllakat, könnyen emészthető és olcsó (*Pollhamerné 1973*).

A búza sikere részben az alkalmazkodóképességén és nagy termőképességén múlik, ugyanakkor lényeges, hogy a lisztje sokféle malomipari termék előállítására alkalmas. A búza nélkülözhetetlen aminosavakat, ásványi sókat és vitaminokat tartalmaz, és az emberi étkezés szempontjából hasznos másodlagos anyagcseretermékeket és étkezési rostokat, ez utóbbiakban különösen a teljes kiőrlésű termékek gazdagok. Ugyanakkor meg kell említeni, hogy a búzából készült ételek felelősek lehetnek számos nem kívánt mellékhatásért, mint például az intolerancia (lisztérzékenység) vagy az allergia (légzőszervi és étel-allergia).

A mai és jövőbeni kutatások témái: a fenntartható búzatermelés és minőség – csökkentett mennyiségű kemikália adagolása mellett – új búzavonalak kifejlesztése a speciális igényű végfelhasználók, például a bioüzemanyag-ipar és a közétkeztetés számára (*Shewry 2009*).

A növénynevelés már hosszú ideje a felhasználók sokrétű, egymástól eltérő igényének igyekszik megfelelő minőségű búzafajtákat előállítani. A kenyérgabona minőségi tulajdonságai alatt a különböző felhasználók számára lényeges tulajdonságokat értjük (*Bedő et al. 1997*). Más-más típusú, fehérjetartalmú búza szükséges a kekszek, különböző típusú kenyerek, vagy éppen a spagettifélék előállításához. Egy búzafajta felhasználási lehetőségeit első közelítésben annak két tulajdonsága, a szem keménysége és fehérjetartalma határozza meg: a magasabb fehérjetartalom értékesebb és jobb minőségű termékek előállítását teszi lehetővé (*Békés 2014*).

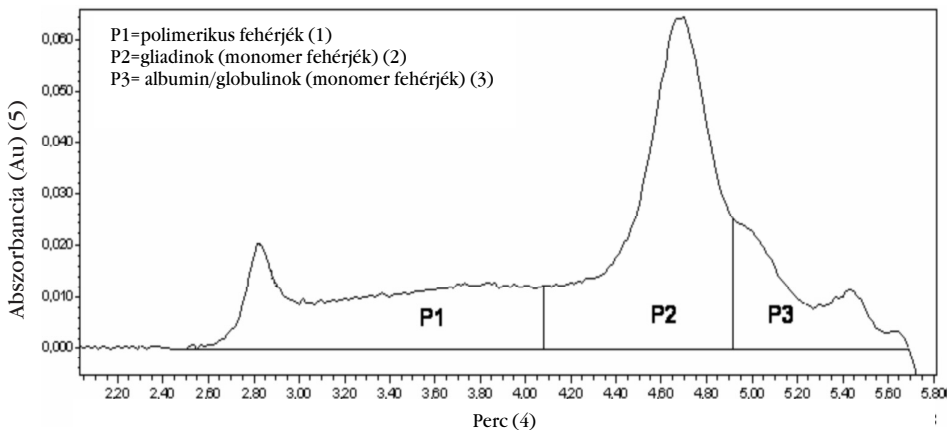
A búza tartalékfehérjei

Jacopo Beccari 1728-as vizsgálatai óta tudjuk, hogy a búzalisztből készült tésztát vízzel mosva siker, egy ragacsos, furcsa állagú anyag állítható elő. Ez az anyag az elasztikus glutenin- és a plasztikus gliadin- fehérjék kölcsönhatása által létrejött komplex szerkezet. A sikerfehérjék az érett búzaszem legfőbb raktározó fehérjei. Ezeket kizárólag a keményítő endospermiumban találjuk, amelyből őrölés hatására liszt keletkezik, és a fehérjék a szem érése során, egymással kölcsönhatásba lépve nagyméretű polimereket alkotnak, amelyek a liszt vízzel való elegyedésekor, a tészta készítésekor egy folytonos proteinhálózatot hoznak létre. Ez a proteinhálózat a tésztának rugalmasságot és viszkozitást

kölcsönöz, lehetővé téve például azt, hogy belőle kelt péksütemények készüljenek (Tosi *et al.* 2011). A búzalisztból gyártott termékek széles palettáját a gabona sikért alkotó raktározó fehérjéi, a prolaminok teszik lehetővé. Az azonban rendkívül lényeges, hogy mely fehérjék és milyen arányban reprezentálják a proteintartalmat. A búza sütőipari minőségét tehát a fehérjék mennyisége és összetétele szabja meg.

Thomas Burr Osborne (1859–1929) a magfehérjéket oldhatóságuk alapján osztályozta: albuminok: vízdoldhatók, globulinok: sóoldhatók, prolaminok (gliadinok): alkohol-oldhatók, glutelinek (gluteninek): lúgoldhatók. A búzafehérjék méret szerint szétválaszthatóak (1. ábra). A búzaliszt általában 45% glutentint, 45% gliadint, 10% oldható fehérjét tartalmaz.

1. ábra. *Ukrainka búzafajta (24. DPA) lisztmintájának SE-HPLC kromatogramja alapján elválasztott polimerikus (glutenin-P1) és monomer (gliadin-P2 és albumin, globulin-P3) fehérjéi*



Forrás: Abonyi (2010)

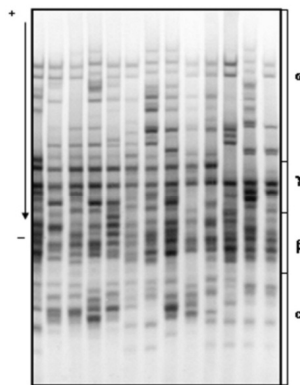
Figure 1. Polymeric (glutenin-P1) and monomeric (gliadin-P2 and albumin, globulin-P3) proteins separated on the basis of the SE-HPLC chromatogram of the flour sample of the Ukrainian wheat variety (24. DPA). (1) P1=polymeric proteins, (2) P2=gliadins (monomeric proteins), (3) Albumin/globulins (monomer proteins), (4) Minutes, (5) Absorbance (Au), Source: Abonyi (2010)

Hagyományosan a búza prolaminjait két csoportra osztják: a tészta sűrűségét és nyújthatóságát a monomer gliadinok, míg a tészta rugalmasságát, erősségét a polimer gluteninek határozzák meg. Ezen csoportokon belül az egyes

fehérjéket az elektroforetikus mozgékonyaságuk alapján tovább osztályozzák: a gliadinokat α -, β -, γ - és ω -típusú fehérjékre osztják, aszerint, hogy milyen mozgékonyaságot mutatnak az elektroforézis során, alacsony pH mellett (2. ábra).

A glutenin redukció hatására alegységeire esik szét. A glutenin alegységeket nagy molekulásúlyú (HMW) és kis molekulásúlyú (LMW) csoportra osztják az SDS-PAGE elválasztás alapján (3. ábra) (Sheury et al. 2009).

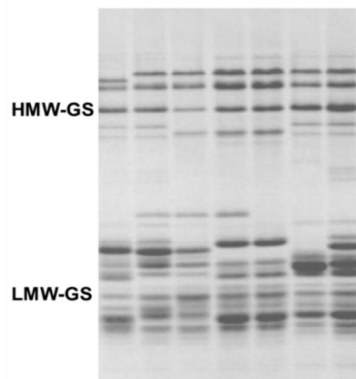
2. ábra. Gliadin fehérjék töltés szerinti frakcionálása



Forrás: Békés (2014)

Figure 2. Fractioning gliadin proteins based on their electric charge. Source: Békés (2014)

3. ábra. Glutenin alegységek méret szerinti frakcionálása



Forrás: Békés (2014)

Figure 3. Fractioning glutenin sub-units based on their size. Source: Békés (2014)

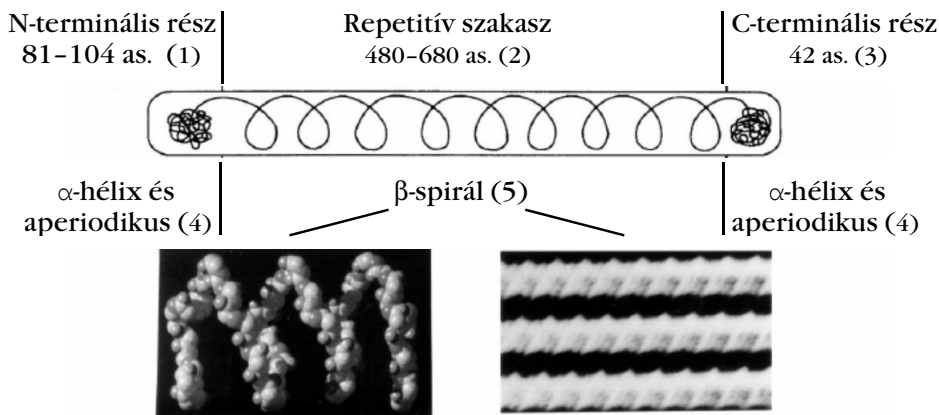
Hasonlóan a gabona egyéb tartalékfehérjéihez a búza prolaminjai polimorfikusak, multigén családok kódolják, amelyek három genomon (A, B, D) homológ allélként szerepelnek. Különböző genotípusok között is a sikefehérjék alléljeinek nagyfokú variációja figyelhető meg. Az egyes búzafajták elkülönítését, a tartalékfehérjék meghatározásával, pl. a gliadinok elektroforézisével is meg lehet határozni (*Bushuk és Zillman 1978*).

Gliadinokra és gluteninekre való felosztás, noha meglehetősen időtállóan bizonyult, nem árulja el a fehérjék molekuláris és fejlődéstani viszonyait. Erre alapozva csupán három csoportot lehet elkülöníteni (*Shewry et al. 1986*): a HMW prolaminok (a gluteninek HMW alegységét tartalmazzák), a kénben gazdag prolaminok (α -, β - és γ -gliadinokat és a glutenin LMW alegységeit tartalmazzák), valamint a kénben szegény prolaminok csoportját (ezek az ω -gliadinokat és a glutenin frakció ilyen típusú fehérjéit tartalmazzák - ezeket az LMW alcsoport D csoportjának hívják) (*Masci et al. 1993, 1999*).

A legtöbb ω -gliadin az A, B és D kromoszóma rövid karján található *Gli-1* lokuszokon lévő (*Gli-A1*, *Gli-B1* és *Gli-D1*-nek nevezett) gének által kódolt, ugyanakkor még néhány további lokusz található ugyanazon a kromoszómakaron.

Határozottan megkülönböztethető a *Gli-A1* és a *Gli-D1*, valamint a *Gli-B1* gének által kódolt fehérjék szerkezete és tulajdonságai. Noha a fehérjék mindkét csoportja többnyire rövid peptidmintázatok ismétlődéséből alakul ki, ezek a mintázatok különbözőek: a *Gli-A1* és a *Gli-D1* által kódolt fehérjéknél PQQPFQ, míg a *Gli-B1* gének által kódoltaknál PFQ₂₋₄ ismétlődése mutatkozik (P=prolin, F=fenil-alanin, Q=glutamin). Ezek a mintázatbeli különbségek természetesen megjelennek a végleges fehérjék aminosav-összetételében is: *Gli-A1* és a *Gli-D1* gének által kódolt ω -gliadinok kb. 40 n/n% glutamint és 30 n/n% prolint, míg a *Gli-B1* gének által kódolt fehérjék kb. 50 n/n% glutamint és 20 n/n% prolint tartalmazznak. Ezen túlmenően e két típusú ω -gliadin könnyen elválasztható elektroforézissel alacsony pH érték mellett. *Gli-A1* és a *Gli-D1* fehérjéi sokkal lassabban haladnak, ezeket ω -1/2 gliadinoknak, míg a gyorsabban haladó, *Gli-B1* fehérjéket ω -5 gliadinoknak hívjuk. Az ω -gliadinokat az N-terminális aminosav-sorrendjük alapján meg lehet különböztetni egymástól, amelyek az ω -5 gliadinokban S₁R₁L₁L₁S₁P₁Q₁, az ω -1 gliadinokban A₁R₁Q₁L₁N₁P₁S₁N₁K₁E₁L₁Q₁ vagy K₁E₁L₁Q₁S₁P₁Q₁S₁, és az ω -2 gliadinokban A₂R₂E₂L₂N₂P₂S₂N₂K₂ szekvenciát mutat (A=alanin, E=glutaminsav, L=leucin, S=szerin, R=arginin, N=aszparagin, K=lizin) (*Shewry et al. 2009*). A sikefehérje-alegységek a polimerben diszulfid hidakon keresztül kapcsolódnak (4-7. ábra).

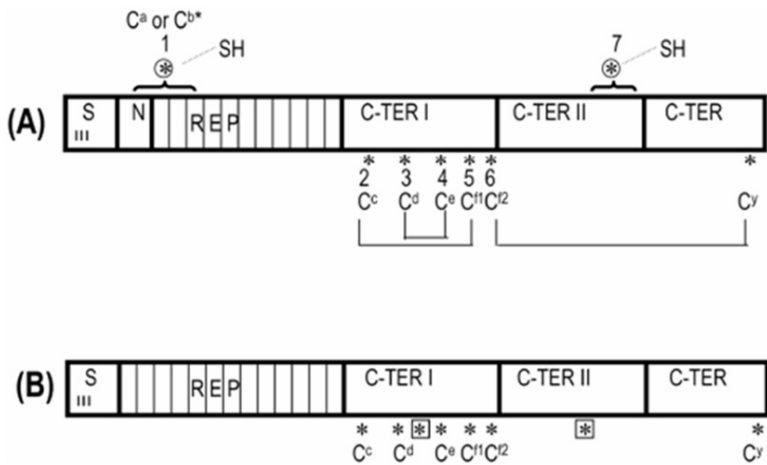
4. ábra. A HMW glutelin alegység feltételezett szerkezete, spektroszkópai és hidrodinamikai vizsgálatok alapján



Forrás: Shewry et al. (2000)

Figure 4. Assumed structure of the HMW glutenin sub-unit based on spectroscopic and hydrodynamic analyses. (1) N-terminal part, (2) Repetitive section, (3) C-terminal, (4) α -helix and aperiodical, (5) β -spiral, Source: Shewry et al. (2000)

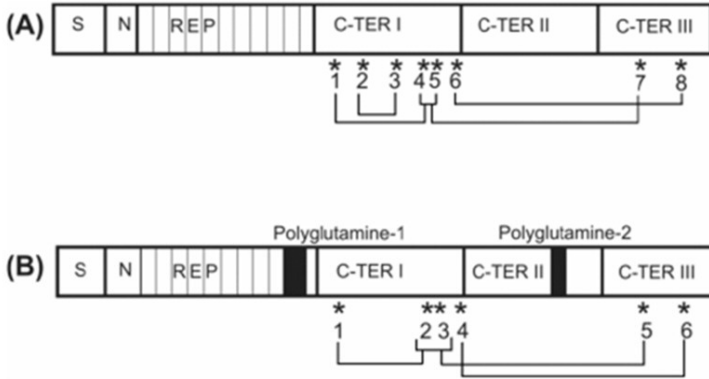
5. ábra. LMW glutenin alegységek



Forrás: Békés (2014)

Figure 5. LMW glutenin sub-units. Source: Békés (2014)

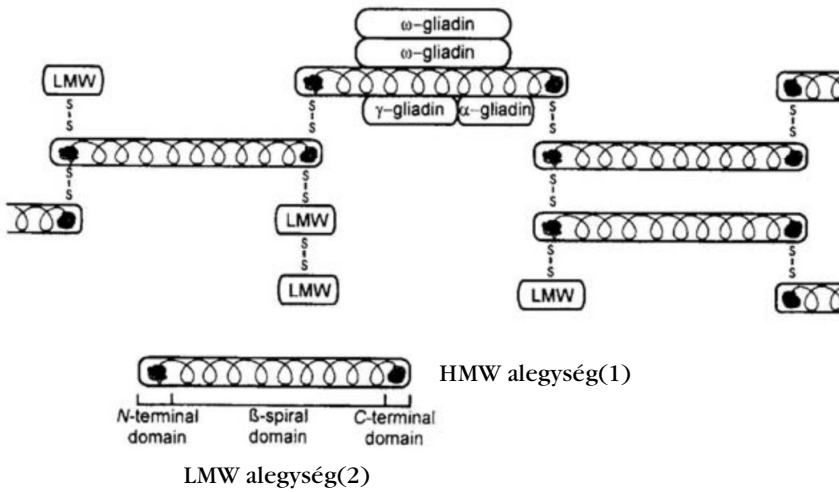
6. ábra. Gliadinok



Forrás: Békés (2014)

Figure 6. Gliadins. Source: Békés (2014)

7. ábra. Modell a sikért felépítő fehérjék szerepére



Forrás: Wieser et al. (2006)

Figure 7. Model of the role of proteins which make up the gluten. (1) HMW sub-unit, (2) LMW sub-unit, Source: Wieser et al. (2006)

A fehérjék eloszlása, felhalmozódása

A fehérjék különösen a gliadinok az érett szem szubaleuron rétegében koncentrálnak (*Bradbury et al.* 1956, *Normand et al.* 1965, *Kent* 1966, *Kent és Evers* 1969, *Tosi et al.* 2009, 2011, *He et al.* 2013). Az endospermium tehát nem egy homogén szövet, és a főbb alkotórészekre (fehérjék, keményítő és sejtfalpoliszacharidok) nézve minőségi és mennyiségi gradiens is megfigyelhető. A fehérjetartalomban és összetételben megfigyelhető gradiens világos és nagy jelentőségű, mert fő szerepet játszik a sikérfehérjék által a búza malomipari értékének meghatározásában. Western blot analízissel antitestek alkalmazásával kimutatható a speciális sikérfehérjék eloszlása az endospermiumban. A nagy molekulatömegű glutenin alegységek (HMW-glutenin) és a γ -gliadinok inkább az endospermium belsőbb rétegeiben, míg a glutenin alacsony molekula-tömegű alegységei (LMW-glutenin), az ω - és az α -gliadinok inkább a szub-aleuron rétegben jellemzőek. Immunlokalizációval ki lehetett mutatni, hogy a sikérfehérjék szegregációja a fehérjeszemcsék között és azokon belül is előfordul a fehérje felhalmozódás során és ez megőrződik az érett búzaszemben is. Tehát minőségi és mennyiségi gradiens alakul ki az endospermium sikérfehérjéi között a búzaszem fejlődése során. Ennek oka esetleg a szubaleuron sejtek eredete, amelyek a többi endospermium sejtől eltérően redifferenciált aleuron sejtekből jönnek létre, de lehet, hogy speciális szabályzó jelek következménye, amelyeket az érett szövet hoz létre a sikérfehérje génpromóterének speciális doménjén (*Tosi et al.* 2011).

A nitrogén műtrágya alkalmazása azonban hat a szemben belüli expressziós mintákra, az ω -gliadin gének inkább az endospermium közepén, mint a szubaleuron rétegben expresszálódtak alacsony N-ellátottság (100 kg N/ha) mellett, ugyanakkor magas N-ellátottság (350 kg N/ha) esetén inkább a szubaleuron sejtekben fejeződtek ki (*Wan et al.* 2013a).

A fehérje felhalmozódásra, a gliadinok és a gluteninek kölcsönhatására és a sikérhálózat kialakulására vonatkozóan is a NIR spektroszkópia hatékony eszköz lehet a növények fiziológiai folyamatainak monitorozására úgy minőségi, mint mennyiségi értelemben, míg a spektrum további rejtett információkat is tartalmaz, amelyeket arra lehet felhasználni, hogy meghatározzuk a búzaszem fejlettségi állapotát (*Salgó és Gergely* 2012).

A trágyázás fejlődés-, terméshozam- és minőségbefolyásoló szerepe

A jó sütőipari termék első feltétele a kiváló minőségű alapanyag. A növényi tápanyagok közül a nitrogén fejt ki a legnagyobb hatást a termés minőségére és a hozamra. A nitrogéntrágyázás növeli a fehérjetartalmat, a nedves siker mennyiségét, az üvegeességet az ezerszemsúlyt, sőt még a keményítőtartalmat is (*Pollhamerné* 1973). Az egyes búzafajták genetikailag meghatározott lehetséges minőségének kifejeződése csak megfelelő agronómiai eljárások mellett történhet meg. A fejlett mezőgazdaság eszköztárában a megfelelő trágyázás fejt ki az egyik legnagyobb hatást a búzatermés minőségére és mennyiségére. A terméshozamért 30–50%-ban a genetikai állomány javítása és 50–70%-ban a mezőgazdasági eljárások a felelősek (*Jolánkai* 1985). A Magyarországon 1967 óta kilenc agroökológiailag különböző területen fenntartott kisparcellás tartamkísérlet alapján, amelyekben hosszú távú műtrágyázási N- és P-kísérleteket is végeznek, megállapítható, hogy a P- és a N-műtrágya dózisének növelése figyelemreméltó hatással van a termésmennyiségre, összetételre és minőségre, a kísérlet első 20 évében összegyűjtött és értékelt adatok átlagához viszonyítva (*Ragasits et al.* 2000). Ezek a hatások függnak az adott terület agroökológiai adottságaitól. Már alacsonyabb dózisu műtrágyakezelés mellett is terméshozam-növekedés, nagyobbánál pedig minőségjavulás is tapasztalható.

Az őszi búza esetén a harmonikus tápanyagellátás (NPK) kedvező tápanyag- és vízgazdálkodású talajtani feltételek mellett is döntő terméshozam-növelő agrotechnikai elem. A 2001-ben végzett kísérletek szerint a vizsgált búzafajták átlagában számított, műtrágyázás nélküli, kontroll terméshozam (3193 kg/ha) az optimális műtrágyaadagok hatására 4 t/ha-ral emelkedett. A trágyázás jelentős hatást gyakorolt a terméshozam mellett a minőségre és a minőségstabilitásra. A trágyázás hatását és hatékonyságát agroökológiai, biológiai és agrotechnikai (genotípus, vízellátottság, elővetemény, növényvédelmi technológia) elemek befolyásolják (*Pepó* 2002, 2005, 2006, 2007). A N-fejtrágyázás – már 40 kg/ha-os adagban is, de sokkal inkább 80–120 kg/ha-os dózisban – aszályos körülmények között is terméshozam-növekedést eredményez. Kísérletek bizonyossága szerint kedvezőtlen ökológiai körülmények mellett kiemelkedő minőségjavító hatást lehet elérni a nitrogén-fejtrágyázás növekvő adagja mellett (*Szentpétery* 2004). Az 1967-ben beállított országos műtrágyázási tartamkísérletek eredményei is bizonyítják, hogy a szárazság következtében terméshozam-csökkenés mérsékelhető megfelelő dózisu műtrágya alkalmazásával (*Láng et al.* 2007).

Általánosan elmondható, a műtrágyázással együtt az öntözés alkalmazása is a termés hozam és a szemfehérje-tartalom szignifikáns növekedését okozza. Ezek részleteire világít rá *Pushman* és *Bingham* (1976) kísérletei: 90 kg/ha-os műtrágyadózist alkalmaztak, amelyet granulátum formájában juttattak ki a kísérleti parcellákra, ennek hatására 12,4 és 6,1%-kal növekedett a termés hozam, valamint 13,0%-kal és 33,7%-kal a szemfehérje-tartalom attól függően, hogy alkalmaztak öntözést vagy nem. További 45 kg/ha-os N-műtrágyadózis, amelyet folyékony urea-fejtrágya formájában juttattak ki az anthesis fázisában, a fehérjék mennyiségét 12,4%-kal növelte az öntözött parcellákban, és 8,8%-kal a nem öntözött területeken, a termés hozamra ez utóbbi kezelésnek kis hatása volt. A fajták termés hozamában és fehérjetartalmában jelentkező szignifikáns különbség, minden N-kezelésnél a termés hozam és a fehérjetartalom fordított viszonyt eredményezett. A fehérjetermelés (N-tömeg/terület egység) az összes fajtánál hasonló mértékű volt, de a liszthozam az urea-kezelés hatására csökkent. A fajták közötti különbségek, a liszthozam tekintetében stabilnak bizonyultak és nem korreláltak sem az ezerszemtömeggel sem a hektoliter tömeggel. A hektoliter tömeg hasznos segítség lehet az egy fajtából származó minta alapján a liszthozam kiszámítására, de valószínűleg félrevezet a fajták közötti összehasonlítás esetén (*Pushman* és *Bingham* 1975). A próbacipó térfogat növekedett a granuláris műtrágya adagolás következményeként. A virágzás idején alkalmazott urea-fejtrágyázásnak nem volt ilyen hatása, annak ellenére, hogy általa növekedett a lisztféhérje-tartalom és csökkent a lisztben az α -amiláz aktivitás, ami azt mutatta, hogy a virágzás utáni N-kezelés elkésett beavatkozás, az már nincs jelentős befolyással a sütőipari minőségre (*Pushman* és *Bingham* 1976).

Berecz és *Ragasits* (1990) a virágzás különböző Feekes szakaszaiban vizsgálták az ammónium nitrát formájában kijuttatott, különböző dózisu (80–200 kg/ha) és a vizsgált technológiai szakaszok (Feekes-skála) közötti különböző elosztású N-műtrágya hatását a Martonvásári-4-es fajtájú őszi búza (*Triticum aestivum* L.) szárazanyag felhalmozódására. A kezdeti növekedéskor sem a N-kezelés mennyiségének, sem az adagolás időpontjának nem volt hatása a szárazanyag felhalmozódására. A növény N-felhalmozódása pozitívan korrelált a N-rátával, 349,5 mg maximumot ért el 10 növényenként 200 kg N-felhasználás mellett. Az osztott N-adagolás alapvetően nem befolyásolta a N-felhalmozódást. 160 és 200 kg N-tavaszi alkalmazása hasonló N-felhalmozódást eredményezett. A gabona nyersfehérje-tartalma a N-ellátás növekedésével növekedett és nem hatott rá az osz-

tott kezelés, de a legnagyobb nyersfehérje-tartalmat 160 kg N osztott alkalmazása mellett kapták. Ahogy a nyersfehérje-tartalom nőtt, a lizin és a treonin tartalom csökkent.

Győri (2006) vizsgálatai szerint a búza minőségét jellemző fehérjetartalom, a harmonikus NPK alkalmazás jelentősen növeli. Ezt támasztja alá a 2001. és 2003. évek kísérleti eredményei, amely során a trágyázatlan kontroll 10%-nál alacsonyabb fehérjetartalma már 60 kg/ha NPK adaggal 12%-ra, vagy magasabb értékre növekedett. A nedvessikér-tartalom vizsgálatánál a trágyázatlan kontroll értéke 25% alatt volt, míg a 60 kg-os NPK minden vizsgált évben 30%-nál több nedvessikért eredményezett. A 60 kg/ha-os műtrágyadózis minden megfigyelt fajta sütőipari értékét is javította, azonban ennél több tápanyag e minőségi mutatót tekintve nem minden esetben járt további emelkedéssel. *Tanács et al.* (2006) kísérleteik során megállapították, hogy a növekvő műtrágyakezelések általában fokozatosan növelték a nedvessikér-tartalom értékeit, a 40+40 kg/ha N, 40 kg/ha P, 40 kg/ha K eredményezett megbízható nedvessikértartalom növekedést. A fungicidkezelésekkel együtt a műtrágyakezelés még inkább növelte a nedvessikér-tartalom értékeit. Éves értékelésben és hároméves átlagban is a kezelések nyomán szignifikáns különbségek mutatkoztak a fajták között a sütőipari értékszámokban.

Szentpétery et al. (2005) vizsgálatai szerint a nitrogén fejtrágyázás növekvő adagjai, valamint azok megosztása a zömében kedvezőtlen ökológiai viszonyok mellett minőségjavító eredményeket produkáltak. A 40, 80, 120, 40+80 és 80+40 kg/ha műtrágyakezelési sor közül a 120 kg/ha-os dózis a terméseredményre csökkenő hatékonyságú volt, a fehérje- és sikértartalom szempontjából, viszont a nagyobb tápanyagmennyiség minőségi többletet eredményezett. A kísérletben a fejtrágya megosztása nagyon jó hatásúnak bizonyult. A sütőipari minőség szempontjából az egyre növekvő műtrágya mennyisége, párosulva a kétszeri, késői kiszórás hatásával, növekvő értéket produkált. A legjobb volt az a kezelés (80+40 kg/ha), amelyik egy viszonylag magas mennyiséggel megadta a búzának a kezdeti fejlődés lehetőségeit, majd a virágzáskori újabb fejtrágya egyértelműen segítette a fajtát abban, hogy megközelítse a genetikailag és az évjárat alapján lehetséges maximális sütőipari minőséget. *Fuertes-Mendizábal et al.* (2010) szerint a búzaszem N-tartalma függ a fajtától, a környezeti hatásoktól, és a műtrágyázás elosztásától. Amikor egy fajta (Soissons) reakcióját vizsgálta a megnövelt N-dózisokra és ezek különböző adagokban és időben való kijuttatására, megállapította, hogy nem csak a megnövelt N-dózis-

nak, de annak elosztásának is kedvező hatása volt a búzaminőségre, sőt abban az esetben, ha kis mennyiségű N-műtrágyát a vegetációs időben szétosztva alkalmaztak, akkor ennek kedvező hatása volt, kiegyenlítette a búza minőségét. A metabolikus fehérjék összetétele változatlan maradt, függetlenül a gabona N-tartalmától, ugyanakkor a tartalékfehérjék tekintetében növekedés volt megfigyelhető a gabona N-tartalmának megnövekedése során. A teszta rugalmassága, nyújthatósága és ereje tekintetében ugrásszerű növekedés volt megfigyelhető, amely a glutenin frakció kismértékű, egy bizonyos küszöbérték fölé való növekedésével van összefüggésben, ami arra utal, hogy egy nagyobb fokú glutenin polimerizációs szint a felelős a minőségjavulásért. Úgy a N-műtrágya arányának növelése, mint a nitrogénmennyiség időben való elosztása a HMW-GS mennyiségének a növekedését eredményezte, amely több diszulfid híd kialakítását teszi lehetővé, nagyobb fokú polimerizációt eredményezve, amely felelős lehet a minőség javításáért.

A N-műtrágya dózisének emelése (0-tól 288 kg/ha-ig) a gliadin fehérjék arányának és a teszta nyújthatóságának a növekedését eredményezte (Godfrey *et al.* 2010). Az a liszt, amely a 192 kg/ha-os N és 0 kg/ha S-műtrágyakezelésben részesült búzából származott, hasonló volt ahhoz, amely 192 kg/ha N-t és 53 kg/ha S-t kezelést kapott. Azonban a ω -gliadinok részaránya megnövekedett és a teszta erőssége hasonló volt az alacsonyabb N-dózisban részesült búzából származó lisztekéhez. A 35 t/ha istállótrágyával kezelt gabona N-mennyisége meggyezett a 144 kg/ha N-nel kezeltével, ami azt mutatja, hogy a legtöbb alkalmazott N felvehető volt a növény számára. Az ebből a parcellából származó liszt fehérje-összetétele és a teszta tulajdonságai hasonlóak voltak azon gabona tulajdonságaihoz, amely a hagyományosan trágyázott parcelláról származott és hasonló N-tartalommal is rendelkezett. A szem N-tartalmában, a fehérje-összetételében, és funkcionális tulajdonságaiban hasonló különbségeket figyeltek meg azokban a gabonamintákban, amelyek az organikus gazdálkodásból és hagyományos mezőgazdaságból származtak.

A búzaszem fehérjetartalma nem csak malomipari, de termesztési szempontból is jelentőséggel bír. Ayers *et al.* (1976) őszi búzánál (*Triticum aestivum* L.) urea-fejtrágya alkalmazása mellett vizsgálták a szemméret, a teljes, a frakcionális és egyedi protein-összetétel, valamint a csíranövény életereje közötti összefüggést. Azt találták, hogy szoros összefüggés van a csíranövény életereje, valamint a szem és endospermium teljes fehérjetartalma között.

A csíranövény életerejét nagyban befolyásolta a sóoldatban oldható és abban nem oldható frakciók aránya az endospermiumban. Az SDS gélelektroforézissel elválasztott egyedi fehérjék többsége – úgy az endospermium híg sóoldatokban oldható, mint a sóoldatokban nem oldható frakciói – pozitívan korrelált a csíranövény életerejével. A növekedési vizsgálatokban addig, amíg a nagy proteintartalmú szemek súlya és fehérjetartalma gyorsabban csökkent, mint a kis fehérjetartalmúaké, addig a nettó asszimilációs rátában, a relatív növekedési rátában, vagy a levélfelület arányban nem volt ilyen különbség. A szemméret változásával az oldhatatlan és oldható fehérjék közötti arány nem változott, azonban urea alkalmazásával ez az arány növekedett. A gliadin frakció N-tartalma a N- műtrágyázás hatására növekedett, az urea-fejtrágyaként és a herbicidek szubtoxikus szinteken való egyidejű alkalmazásával a glutén frakció N-tartalma lecsökkent.

A sikerképző polipeptidek bioszintézisét nyomon követve kimutatható, hogy a szemfejlődés korai szakaszaiban kis mennyiségű gliadin és glutenin monomereket lehet találni, azonban ezen fehérjék zöme a fejlődés későbbi szakaszaiban szintetizálódik. A kísérleti eredmények megerősítették azt a korábbi feltételezést, miszerint a glutenin polimerek képződése és felhalmozódása később kezdődik, mint a monomerek szintézise. Bebizonyosodott, hogy a fehérjeszintézis első fázisában a monomerek „szabad” állapotban vannak, a polimer glutenint csak később lehet kimutatni. A HMW glutenin alegységek egymással párhuzamosan szintetizálódnak, mennyiségileg pedig a B és D kromoszómák által kódolt polipeptidek dominálnak. Noha az egyes fajták között a teljes fehérjemennyiség, a gliadin, a glutenin és az egyedi glutén-képző polipeptidek mennyiségében szignifikáns különbség mutatkozhat, az egyes fehérje összetevők felhalmozódásának karaktere – fehérjetömeg/szem alapon meghatározva – azonban hasonló, egy szigmoid görbén lehet megjeleníteni (*Abonyi et al.* 2007). *Liu et al.* (2007) kísérletének eredményei azt mutatták, hogy a N-műtrágyázás hatására (0, 120, 240 és 360 kg/ha urea) jelentősen megnőtt az albumin- és a globulintartalom a szemtelítődés korai szakaszában, de ez a hatás később fokozatosan csökkent. Az érésig nem volt érezhető hatása a különböző N-dózisoknak az albumin- és globulintartalomra nézve. A N-műtrágyázás egyaránt megnövelte a gliadin és a glutenin mennyiségét, a gluteninét valamivel nagyobb arányban. Ebből következően a glutenin gliadinhoz viszonyított aránya megnőtt. A N-kezelés a liszt nedvessikér-tartalmát is megnövelte és így elnyújtotta a farinográfus tésztakialakulási időt, növelte a stabilitását és eltarthatóságát.

A kétdimenziós gélelektroforézis feltárta, hogy a virágzás utáni trágyázás hatására változások következnek be a proteomban, amely meghatározó jelentőségű a liszt minősége és az immunogenicitás szempontjából (*Altenbach et al.* 2011). Az ásványi táplálásnak a szemfejlődés során nagy hatása van a liszt fehérjetartalmára és összetételére, ami viszont befolyásolja ennek a gazdaságilag nagyon értékes árucikknek a minőségét és immunogén potenciálját. A búza-liszt proteomjának összetettsége miatt nehezen meghatározható az ásványi táplálás pontos hatása a fehérje összetételre. Tandem tömegspektroszkópia (MS/MS) segítségével javult a lisztfehérjék meghatározása és hozzáférhetőek egy amerikai búzából (Butte 86) származó liszt átfogó proteom térképei. Mindez lehetővé teszi, hogy dokumentálni lehessen a liszt egyedi fehérjéiben bekövetkező változásokat, amelyek a műtrágyázás hatására jönnek létre. A Butte 86 jelű őszi búzát virágzás után műtrágyával kezelték, illetve kontrollt is alkalmaztak. Mennyiségi 2D gélelektroforézist használtak, hogy meghatározzák a belőlük származó lisztek fehérje-összetételét. A kezelés hatására 54 egyedi fehérje aránya szignifikánsan változott. A legtöbb ω -gliadin, HMW-GS-ok és a szerpinek (szerin proteáz inhibitorok) csakúgy, ahogy néhány α -gliadin aránya megnőtt a kezelés hatására. Ezzel ellentétesen az α -amiláz/proteáz inhibitorok farininek, purininek és puroindolinok aránya csökkent. Növekedés volt tapasztalható még számos alacsony molekulatömegű glutenin alegység (LMW-GS), globulinok, és enzimek esetén. A HMW-GS, LMW-GS aránya 0,61-ről 0,95-re, míg a gliadin és glutenin aránya 1,02-ről 1,30-ra emelkedett a műtrágyázás hatására. Mivel a liszt fehérjetartalma a virágzás utáni műtrágyázás hatására megkétszereződött, 7%-ról 14%-ra emelkedett, a legtöbb fehérjetípus abszolút mennyisége megnőtt. Az adatok azt sugallják, hogy a lisztfehérjék a virágzás utáni műtrágyázás hatására változhatnak a kéntartalmú aminosavak (Cys, Met) mennyisége szerint.

A N-műtrágyázás mértékének nem csak a fehérjetartalomra van szignifikáns hatása, de rajta keresztül az alkoholhozamra vonatkozóan is. *Kindred et al.* (2008) két fajta esetén azt mérte, hogy átlagban tonnánként 10 kg fehérjenövekedés 5,7 l alkohol csökkenést eredményezett. A genotípus csak kis mértékben befolyásolta a fehérjetartalmat. Az alkalmazott N-kezelés a két fajtára megegyezően hatott, vagyis a műtrágyakezelés és a fajta kölcsönhatásának egyik vizsgált tulajdonságra sem volt hatása. A különböző gabonafehérje-szintek esetén egyenletes különbségek mutatkoztak a keményítőtartalomban és ebből következően az alkoholhozamban is. A méretkizárásos kromatográfiával

történő tartalékfehérje-összetétel vizsgálat kiderítette, hogy a gliadinok mennyisége 0,56 g-mal növekedett minden gramm teljes gabonafehérje növekedésével, tehát tömegét tekintve a legfontosabb tartalékfehérjét képezték. Mindez arra utalt, hogy az alacsony gliadintartalomra vonatkozó nemesítés csökkenti a gabonafehérje mennyiségét és növeli az alkoholhozamot. Statisztikailag kimutatták, hogy a gazdaságilag optimális N-műtrágya mennyiség közel van ahhoz a mértékhez, amely a maximális alkoholtermelékenységet jelenti.

A műtrágyázás hatása a génexpresszió szabályozására

A szerves vagy szervetlen trágyázás hatására jelentősen megváltozik a búza génexpressziója (Lu *et al.* 2005). A terméshezamra, és minőségre a legnagyobb befolyással a N van, ezért a mezőgazdaság számára és környezetvédelmi szempontból is a N-trágyázás helyes és pontos megtervezése nagy fontossággal bír. Ennek ellenére még keveset tudunk a különböző N-dózisok és formák génexpresszióra gyakorolt hatásáról a szántóföldi gabonák esetében. A rothamstedi Broadbalk őszi búza kísérletből és még három másik kísérleti tábláról származó mintákat EST (expressed sequence tag) alapú búza mikroarray technikával vizsgálták és kimutatták, hogy az egyes gének meglepő módon különböző expressziós szinttel reagálnak a szerves vagy szervetlen formában adagolt N-trágyázásra. Számos génről, amelyik különböző génexpressziós szinteket mutat, tudjuk, hogy részt vesznek a N-metabolizmusban és a raktározófehérje szintézisben. Mások szerepe viszont még ismeretlen, így ez a jövő kutatásainak megfelelő témája lehet. A jellemző génexpresszió használható az organikus vagy hagyományos mezőgazdaságban termesztett búzák elkülönítésére.

Az egyik új ω -gliadin géncsalád szabályozása nagymértékben a N-ellátás befolyása alatt áll a szemfejlődés folyamán (Wan *et al.* 2013a). Hat búzafajtát három különböző szintű, 100, 200 és 350 kg/ha-os N kezelés mellett termesztették Rothamstedben 2009-ben és 2010-ben. Affymetrix wheat GeneChip[®]-pel jellemezték a virágzás utáni 21. napon a fejlődő gabonaszem génexpresszióját. A 105 transzkriptumból 4-et, amelyek transzkripcióját a N szignifikánsan felül szabályozta, γ -3 hordeinként azonosítottak. Az expresszált szekvenciák meghatározása bebizonyította, hogy ezek aminosavsorrendje eltér a korábban leírt (tipikus) γ -gliadinok szekvenciájától és a γ -gliadinok egy új családját képviselik. Real time reverz transzkriptáz PCR módszerrel vizsgálták a búzaszem érése közben a transzkriptumokat a virágzást követő 14, 21, 28 és 35. napon és azt

találták, hogy ez a transzkripció a 21. napon volt a legtömegesebb és ekkor reagált legnagyobb mértékben a N-kezelésre. A Hereward búzafajtából és a rokon *Aegilops tuschii*, valamint a *Triticum monococcum* fajokból PCR technikával négy új γ -globulin gént sikerült izolálni, míg hármát a búza (Chinese Spring fajta) genom szekvencia adatbázisból azonosítottak. A hét feltárt génhez köthető aminosavszekvencia azt mutatta, hogy ezek mindössze 44,4–46,0% azonosságot mutatnak a tipikus γ -gliadinokkal, de 61,8–68,3%-os azonosságot mutatnak a vad árpa faj *Hordeum chilense* γ -3 hordein szekvenciával. Az új γ -gliadin gént az első kromoszómacsoportban lokalizálták (1, 1B, 1D).

Egyéb tényezők hatása a termésmennyiségre és a minőségre

Van Lili et al. (1995) szerint a hozamot és a technológiai minőséget befolyásoló környezeti hatások eredményeként a sütőipar meglehetősen egyenlőtlen minőségű lisztet kap, amely negatívan hat a búza piaci értékére. Számos genetikai és környezeti tényező hathat a sütőipari minőségre. A hozam és a fehérjemennyiség (koncentráció) a környezeti hatások szerint változik, míg a tészta-minőség alapvetően örökletes meghatározottságú.

DuPont és *Altenbach* (2003) szerint a búza szemtelítődése során a terméshozamra és a liszt minőségére erős hatással vannak a környezeti tényezők. A környezeti változók (hőmérséklet, vízellátás, tápanyagellátás) egyedi módon és különböző mechanizmusok során befolyásolják a búza fejlődésének, a fehérje felhalmozódásának, és a keményítő lerakódásának az arányát és időtartamát. A környezeti hatások hozzáadódnak a génexpresszió belső időbeli mintázatához a gabona fejlődése során. A genetikai és a proteomikai kutatások összevetése az ellenőrzött környezeti körülmények között végzett kutatásokkal feltárhatják a szemfejlődés során zajló génexpresszió komplex mintázatát, felfedve azon kulcsfontosságú szabályozási folyamatokat, amelyeket a környezeti hatások befolyásolnak, és bemutatva a környezeti tényezők lisztminőségre és összetételre gyakorolt hatásának molekuláris alapjait.

Borojevic és *Williams* (1982) szerint a minél nagyobb terméshozam elérésének elengedhetetlen feltétele az adott környezeti viszonyok mellett a legjobb fajta kiválasztása. A genotípus ugyanis alapvetően meghatározza a szemszám/kalász arányt, az ezerszemtömeget, a betegség ellenálló képességet és az állóképességet, csakúgy, mint a terméshozamot. Az egy évtizeden át folytatott vizs-

gálatok alapján kiderült, hogy a genotípus és a környezet kölcsönhatása hogyan hat azon paraméterekre, amelyek meghatározzák a növény tápanyag-felhasználó és forráskapacitását, és ezek hatását a termés hozamra. A levélfelületi index (LAI) és a levélfelület-tartósság (LAD) esetén az évjáráthatás bír nagyobb jelentőséggel, mint a genotípus vagy az évjárat, illetve a kettő kölcsönhatása. A környezeti tényezőknek nagyobb hatása volt a forráskapacitásra, mint a tápanyag felhasználó tényezőkre. Más változók közvetlen hatása különbözött az egyes fajták között, néhány pozitív néhány pedig negatív közvetlen hatást gyakorolt a termés hozamra. A klimatikus hatások közül csak a májusi, júniusi naposütéses órák számának növelése mutatott pozitív összefüggést a termés hozammal, például az ivarsejtek kialakulásának, a megtermékenyítés és a szemtelítődés időszakában.

A különböző évjáratok minőségre gyakorolt hatása a nedvessikér-tartalom és a valorigráfos érték esetében eltérő módon érvényesül. Kísérletek szerint a vizsgált fajtáknál, amíg a nedvessikér-tartalmat – az évjáráthatás érvényesülése mellett – megfelelő trágyázással magas szinten, javító minőségi kategóriában lehetett tartani, addig a valorigráfos értékszámot az évjárat sokkal nagyobb mértékben befolyásolta. Még kedvező trágyázás esetén is igen széles intervallumban, 39 (C1) és 80 (A2) között változott. A vizsgálatok bizonyították, hogy aszályos évjáratokban a szemtelítődési folyamatok zavart szenvedtek, nem alakult ki a megfelelő sikerösszetétel, nem tudott kedvező sikerváz kialakulni (Pepó 2004).

A N-műtrágyázás, kombinálva az istállótrágyázással megnöveli a sikértartalmat, a farinográfos értéket és a Zeleny-féle szám is szignifikánsan növekszik. Ha alacsony N-műtrágya mennyiséget alkalmaznak, akkor az általános javulás nem érzékelhető az istállótrágya kedvező hatása ellenére sem. Ezek az eredmények egy átlagos K-ellátottságú, alacsony foszfor szinttel rendelkező és közepes N-tartalmú Ramann-féle barna erdőtalajon végzett kísérletből származtak (Kismanyoky és Ragasits 2003). Keszthelyen vizsgálták, hogy a szerves és N-műtrágyázás hogyan hat a búza termés hozamára és minőségére. A kísérletben 0–200 kg/ha N, valamint egyaránt 100 kg/ha foszfor (P_2O_5) és kálium (K_2O) kezeléseket, istállótrágyázást, szalmatrágyázást és zöldtrágyázást alkalmaztak nem trágyázott kontroll mellett. A N trágyázásnak lényeges hatása volt a termés hozamra (az 1,98 t/ha-os hozam háromszorosára növekedett 200 kg/ha-os N-műtrágya adagolásával). A kezelések szignifikáns hatással voltak a búzaminőségre is.

A hőmérsékleti hatás és a nitrogénellátás mértéke különbözőképpen hat a szemtömegre, a fehérjetartalomra, a gliadin összetételre és tartalomra. A hőmérséklet és a nitrogénellátás növelésével megnő a fehérjék és a gliadinok aránya a lisztben, ugyanakkor a proteinek vagy a gliadinok minőségét a magas hőmérséklet kedvezőtlenül befolyásolja, ugyanerre a jó N-ellátottság pozitív hatással van. Mindkét faktor növeli az ω -gliadinok arányát az összes gliadinkon belül. Az α - és β -gliadinok aránya növekszik a hőmérséklet növekedésével, és csökken a N-mennyiségének növelésével, a γ -gliadinok arányát azonban csökkenti a növekvő hőmérséklet, és növeli a N mennyisége. A hőmérséklet és a nitrogénellátás eltérő hatása a lisztben levő fehérjék gliadin arányára és a gliadinok összetételére, a szemben felhalmozódott fehérjék vagy gliadinok teljes mennyiségével magyarázható. Megállapítható, hogy a két megközelítés a liszt és a szem szintjén egymást kiegészíti, az első a nyersanyag jellemzésére használható, a második pedig arra, hogy a szem összetételének változatait megértsük és modellezzük (*Daniel és Triboi* 2000).

Az aratáskori gliadintartalom és összetétel fontos szerepet játszik a búzaliszt tulajdonságainak és felhasználhatóságának meghatározásánál. A virágzás után alkalmazott hőmérsékletnövelés hatására megnő a naponkénti gliadinfelhalmozódás aránya, és csökken az egy napon belüli felhalmozódás időtartama. A hatás nagyobb mértékű az α - és a β -, mint az ω -gliadinok esetén. A N-műtrágyázás megemeli a napon belüli fehérjefelhalmozódás arányát és hosszát. A virágzás előtti N-szint befolyásolja a virágzáskori N-ellátás hatását. Az ω -gliadin felhalmozódására a N-ellátás viszonylag nagyobb hatással van, mint az α -, β -, és γ -gliadinokéra. A gliadinok végső összetétele a felhalmozódás arányának és a szintézis hosszának a függvénye, amelyet az határoz meg, hogy mikor indul be és mikor áll le a szintézis. Az egyes gliadin frakciók közötti dinamikus N-allokáció, amely a termikus kezelés szempontjából írható le, alkalmas arra, hogy modellezze a búza gliadin tartalmát és összetételét (*Daniel és Triboi* 2001).

A N-műtrágyázás, a virágzás utáni hőmérséklet és a szárazság az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) szárazanyag-felhalmozódás kinetikájában, az összes N-mennyiségében és a fehérje-összetevők (albuminok, globulinok, amfifilek, gliadinok és gluteninek) arányában megmutatkozik. A posztantézis időszakában alkalmazott hőmérsékleti vagy vízellátási hatások nem befolyásolják szignifikánsan a fehérjefrakciók felhalmozódásának a kinetikáját, míg a N-műtrágyázás alkalmazása jelentősen befolyásolja a tartalékfehérjék felhalmozódását.

nak idejét és azok mennyiségét. Az albumin-globulin fehérjék felhalmozódása a szemfejlődés korai szakaszában történik. A frakció felhalmozódási aránya szignifikánsan csökken a virágzás után, amikor is a tartalékfehérjék (gliadinok és gluteninek) szignifikánsan kezdenek felhalmozódni. A különböző környezeti körülményekre egyszerű allometriás viszonyok állnak fenn a szemenkénti összes N-mennyiség és minden proteinfraakció mennyisége között. A N-felosztás folyamata nem befolyásolt sem a virágzás utáni hőmérséklettől vagy szárazságtól, sem a N-műtrágyázás idejétől vagy dóziséjától. A proteinfraakciók összetételének változása az érésnél leginkább a szemtelítődéskor felhalmozódott összes-N függvénye (*Triboï et al.* 2003).

Ellenőrzött körülmények mellett vizsgálták az ásványi tápanyagok és a hőmérséklet hatását a búzaszem fehérjéinek felhalmozódására és összetételére, valamint a sütőipari minőségére (*DuPont et al.* 2006). 24 °C nappali és 17 °C éjjeli (24/17 °C) hőmérsékleti kezelés mellett a virágzás utáni, csepegtető öntözési rendszerben folyamatosan adagolt nitrogén, foszfor- és kálium-műtrágya (N:P:K=20:20:20) megnövelte a fehérje-felhalmozódás mértékét, megduplázta a lisztfehérje arányát és némileg megnövelte a szem tömegét. Ezzel ellentétben a virágzás utáni NPK kezelés szinte teljesen hatástalan volt a fehérje-felhalmozódás mértékére, időtartamára, vagy a lisztfehérjék arányára, amennyiben magas hőmérsékleti kezeléssel (37/28 °C) párhuzamosan történt a tápanyag-szolgáltatás. A 37/28 °C kezelés megrövidítette a szemtelítődés időszakát, lerövidítette a szárazanyag felhalmozódás idejét, 50%-kal csökkentette a szemtömeget. 32/28 °C-os hőmérsékleti rezsim mellett a búzaszemek fehérje-felhalmozódásának a mértéke, hossza és a szemenkénti összfehérje mennyisége NPK kezeléssel vagy nélküle hasonló volt azon búzatermés fenti tulajdonságaihoz, amely a 24/17 °C-os hőmérsékleten nevelt, de virágzást követő NPK kezelésben nem részesített növényekből származott. Transzkripció és fehérje-profil vizsgálatok megerősítették, hogy – a gliadinok és gluteninek összehangolt szintézisének megzavarása nélkül – a 37/28 °C-os kezelés lerövidíti a fejlődést, noha megfigyelhető az NPK műtrágyázás és a hőmérséklet néhány specifikus hatása az egyes gliadinok és gluteninek relatív mennyiségére. Az ω -gliadinok, az α -gliadinok és a nagy molekulatömegű glutenin alegységek (HMW-GS) transzkripció szintje 24/17 °C-os kezelés mellett, virágzás utáni NPK hiányában lecsökkent, ugyanakkor az alacsony molekulatömegű glutenin alegységek (LMW-GS) és a γ -gliadinok transzkripció szintje csekély változást mutatott. Kétdimenziós gélelektroforézissel bizonyították, hogy számos ω -

gliadin, α -gliadin és HMW-GS relatív mennyisége alacsonyabb volt virágzás utáni kezelés nélkül, mint NPK kezelés mellett, ugyanakkor az LMW-GS legtöbbjének relatív mennyisége NPK kezelés mellett volt alacsonyabb. A hőmérséklet hatása a relatív mennyiségre általában csekélyebb volt, mint az NPK hatása. A virágzás utáni NPK kezelés nélkül 37/28 °C-nál néhány α -gliadin és HMW-GS relatív mennyisége magasabb volt a 24/17 °C-os kezeléshez hasonlítva. Az NPK-val vagy anélkül a 37/28 °C-os hőmérsékleti kezelés esetében a legtöbb LMW-GS relatív mennyisége lecsökkent. A próbacipó térfogat a lisztfehérje arányával korrelált, tekintet nélkül a hőmérsékleti kezelésre, de a dagasztási tőrésindex a legmagasabb azon lisztekénél volt, amelyek 24/17 °C-os hőmérsékleti kezelés mellett NPK kezeléssel is átestek.

Transzgenikus vonalak a búza minőség javítás szolgálatában

Rendelkezésre állnak olyan eredmények, amelyek azt mutatják, hogy létre lehet hozni olyan transzgenikus búzavonalakat, amelyek terméséből jobb sütőipari tulajdonságokkal rendelkező lisztet lehet előállítani. A brit kutatók által kifejlesztett és jellemzett B73-6-1 jelű transzgenikus búzavonal az eredeti HMW-glutenin génjét (*1Dx5*) 10-15 extra másolatban tartalmazza, amely körülbelül négyszeresére növeli a kódolt fehérje mennyiségét. Martonvásáron 2000 és 2002 között tanulmányozták ezen transzgenikus búzavonal technológiai és reológiai tulajdonságait összevetve a nem transzgenikus kontrollal. Az eredmények azt mutatják, hogy számos generáción át stabilan öröklődtek a transzgenikus és a kapcsolt funkcionális tulajdonságok. A terméshozam tekintetében nem lehetett különbséget kimutatni a transzgenikus és az eredeti genotípus között, de a szemkeménység és a szemméret tekintetében megmutatkoztak a genotípusos különbségek. A transzgenikus vonal nagyobb szemkeménységgel és kisebb szemmérettel rendelkezett. A transzgenikus B73-6-1 növények hajlamosak voltak arra, hogy nagyobb fehérjetartalommal rendelkezzenek a kontrolnál (L88-6), de ez nem tekinthető szignifikánsnak. Ettől eltérően az *1Dx5* HMW glutenin alegység mennyisége, a *Dx/Dy*, a HMW/LMW- és a glutenin/gliadin arány szignifikánsan, 400%-kal nőtt. Ugyanakkor a nedvesikér-tartalom és az SDS szedimentációs index csökkent. A fehérjemátrix szerkezetében szignifikáns változások következtek be a HMW-gluteninek x:y arányának eltolódása miatt, és így a liszt tulajdonságai is megváltoztak. Azon tulajdonságok, amelyek a tészta stabilitását és erősségét jellemzik azt mutatták,

hogy a B73-6-1 téstája erősebb lett, de csökkent a nyújthatósága. Az ebből a transzgenikus vonalból előállított liszt alkalmas lehet a silányabb lisztek feljavítására (Rakszegi *et al.* 2005). Egy disznóparéj-félében (*Amaranthus hypochondriacus*) található, magas esszenciális aminosav-tartalommal rendelkező, 35 kDa-os AmA1 szem-fehérjét kódoló albumin génjével transzformálták a Cadenza fajtájú kenyérgabonát (*Triticum aestivum*). A T1 vonal Southern-blot analízisével bebizonyosodott az idegen gén integrációja, míg a minták RT-PCR és a Western-blot analízise megerősítette ezen transzgenek transzkripcióját és translációját. Az extra albumin fehérje hatását a liszt tulajdonságaira, amelyet a T2 vonalból felszaporított szemekből nyertek, a teljes fehérjetartalom és az esszenciális aminosavtartalom, a polimer/monomer és a HMW/LMW arány megvizsgálásával határozták meg. Az eredmények azt mutatták, hogy nem csak az esszenciális aminosav tartalmat lehet megnövelni, de néhány lisztminőséggel összefüggő paramétert is lehet javítani az AmA1 protein expresszáldásával (Tamás *et al.* 2009).

Környezetvédelmi aspektusok

Ragasits *et al.* (1996) vizsgálatai alapján a különböző N-formák [ammónium-nitrát, AN, urea (Formurin/FO) és paraffin burkolatú urea (Paramid/PA)] hatással vannak a N-szivárgásra, N-felvételre, azonban a terméshozamra és a sütőipari minőségre az őszi búza esetén nincs befolyásoló hatása, vagyis inkább környezetvédelmi, mint közvetlen gazdasági indokai lehetnek a használatuknak. A tápanyagot lassan leadó N-műtrágyák tulajdonsága, hogy állandó N-ellátást biztosítanak, ugyanakkor csökken a N-elszivárgás veszélye. A késő őszi FO és PA adagolás ősszel alapvetően mintegy 38%-kal és 15%-kal kisebb N-minimum szintet jelentett a talaj 0–90 cm-es rétegében, mint az AN adagolás. A N-minimum szint a kontrollparcellákon ebben a rétegben nem volt kiemelkedő. A N-ellátásban levő különbségek megmutatkoztak a búza N-felvételénél is. AN és PA kezelés esetén a N-felvétel mértéke hasonló volt a szárnövekedési és a virágzási periódusban is, ha azonban FO-t alkalmaztak a N-felvétel a búza élete során lassan csökkent. Ennek ellenére a terméshozam nem függött a N-adagolás formájától. A sütőipari minőséget nem befolyásolták kedvezően a lassú adagolású N-műtrágyák összehasonlítva az AN-nel. Hektáronként 160 kg N-re volt szükség ahhoz, hogy elérjék a maximális nedvessikér-tartalmat, Zeleny számot és a valorigráfos értéket. Sem az FO sem a PA kezelések nem eredmé-

nyeztek szignifikáns eltéréseket a fenti paraméterekben az AN-nel való összehasonlításkor.

A N-műtrágyázás a termelőknek jelentős költséget jelent, ugyanakkor N-kimosódás, a műtrágya termelése és a kijuttatása során a fosszilis üzemanyagok használata és a denitrifikáció során a N_2O kibocsátás környezeti hatással is járhat. A N-hatékony kultúrák kifejlesztése gazdasági előnyt jelent a termelők számára és segít lecsökkenteni a túlzott mértékű N-műtrágyázáshoz kapcsolódó környezeti terhelést. Megállapítható, hogy (1) a megnövelt mélységi gyökérsűrűség (RLD), (2) a növényi szár magas N-kötő képessége, esetlegesen kapcsolódva magas maximum-N felvételi rátával, (3) a levéllemez alacsony N-koncentrációja, (4) a szárból a szem felé irányuló hatékonyabb virágzás utáni N-remobilizációs képesség, de kisebb hatékonyságú N-remobilizáció a levéllemezről a szem felé, mindkettő lehetőleg együtt a késleltetett öregedéssel, és (5) a szem alacsonyabb N-koncentrációja különösen jelentős lehet a nagyhatékonyságú N-felhasználás (NUE) eléréséhez a takarmánybúza- és a (6) kenyérbúzafajtáknál, a magas NUE együtt járhat a N nagy hatékonyságú felvételével és asszimilációjával, a virágzás utáni nagy hatékonyságú N-remobilizációval és/vagy speciális szemfehérje összetétellel (*Foulkes et al.* 2009).

Egészségügyi vonatkozások

A feldolgozóiparban és az ételallergiái kutatásban élénk érdeklődés van a búza ω -gliadinok iránt. Különösen fontos az ω -5 alcsoport, a búzalisztfüggő terhelés indukálta anafilaxia (WDEIA) kialakulásában betöltött szerepe miatt (*Morita et al.* 2003, *Matsuo et al.* 2005). Ez az allergiás válaszreakció akkor fordul elő, ha a búzát a fizikai erő kifejtés előtt emésztette meg az érzékeny személy és a tünetek rendkívül hevenyek, legrosszabb esetben halálos esetek is előfordulhatnak (*Palosuo et al.* 2001, *Morita et al.* 2003). A többi sikérfehérjéhez hasonlóan ezek is genetikai polimorfizmust mutatnak (*Metakovsky* 1991, *Denery-Papini et al.* 2007). A búza ω -gliadin fehérjék és gének pontos számbeli meghatározása még várat magára. *Sabelli* és *Shewry* (1991) southern blot analízist használtak és azt találták, hogy a kenyérbúza 15–18 ω -gliadin gént tartalmaz. Számos szerző meghatározott egy-egy ω -gliadin N-terminált szekvenálással vagy elektroforézissel vagy reverz-fázisú HPLC-vel (*Kasarda et al.* 1983, *Masci et al.* 1993, 1999, *DuPont et al.* 2000). *DuPont et al.* (2011) hét ω -gliadint határoztak meg 2-D gélelektroforézissel és tandem tömegspektro-

metriával, de nem határozták meg, hogy ezek monomerek vagy polimerek voltak-e. *Wan et al.* (2013b) az ω -gliadinok kétféle mintázatát azonosította hat fajtában, beleértve a monomer „gliadin” proteineket és a polimer „glutenin” frakcióban lévő alegységeket. Azt a következtetést vonták le, hogy az általuk vizsgált hat búzafajta két csoportja legalább hét és öt ω -gliadin fehérjét tartalmaz. Az ω -5 gliadin polimer formája (ω -5b) három fajtában (Hereward, Istabraq, Malacca) fordult elő, az ω -2 gliadin polimer formája (ω -2b) mind a hat fajtában jelen volt. Ez azt mutatja, hogy az ω -gliadinok polimer formái széleskörűen elterjedtek a modern búzafajtákban és mutatja, hogy ezek szerepének további tanulmányozása a glutenin polimer szerkezetében, valamint a tészta sütőipari minőségében igazolható lesz.

Moss et al. (1981), *Wieser és Seilmeier* (1998), *Godfrey et al.* (2010), *Altenbach et al.* (2011) igazolták, hogy a növekvő mértékű N-trágyázás az ω -gliadinok arányának növekedését okozza. A parcellán belüli N-dózis emelése növelte az ω -5 gliadinok arányát is.

A bőségesebb N-műtrágyázás hatására az ω -5 gliadinok arányának növekedése valószínűleg összefüggésben van azzal, hogy ezen fehérjék N-tartalma nagyobb, mint az ω -1/2 gliadinoké.

Az ω -gliadinok sütőipari értékben játszott szerepe még tisztázatlan. Tisztított fehérje hozzáadása a liszthez pozitív (*Khatkar et al.* 2002a, b) vagy negatív (*Uthayakumaran et al.* 2001, *Fido et al.* 1997) hatással is lehet a sütőipari minőségre. Noha ezek a vizsgálatok csak a monomer frakciókra terjedtek ki. A polimer ω -5b gliadinok nagyarányú növekedése a teljes glutenin polimerek növekedéséhez vezethet, de nem valószínű, hogy jobb minőséget is eredményezne, minthogy a polimer ω -5 gliadinok (szabad cisztein csoportjai) láncközi diszulfid-hidakat képezhet – és ezért mint láncterminátor szerepelhet –, csökkentve a polimer méretét (*Gianibelli et al.* 2002).

Az ω -gliadinok, és más glutén proteinek megnövekedett felhalmozódása a keményítőtartalmú endospermium szubaleuron rétegében annak köszönhető, hogy nagy mennyiségű aminosav áramlik ezekbe a sejtekbe, a bőséges N-ellátás következtében. A N-ellátás mértékének hatása az ω -gliadinok térbeli elhelyezkedésére és összetételére a búzaszem endospermiumában azt mutatja, hogy nemesítéssel, agrotechnikával, vagy ipari módszerekkel befolyásolható az ω -gliadinok összetétele a búzában így az élelmiszerekben is, hogy optimalizálni lehessen a funkcionális tulajdonságokat és csökkenteni lehessen az allergén komponenseknek való kitettséget (*Wan et al.* 2013b).

IRODALOM

- Abonyi T.*: 2010. A sikéralkotó fehérjék bioszintézise és a sikerkomplex reológiai sajátosságai. PhD értekezés. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem. Budapest.
- Abonyi, T.-Király, I.-Tömösközi, S.-Baticz, O.-Guóth, A.-Gergely, S.-Scholz, E.-Lásztity, D.-Lásztity, R.*: 2007. Synthesis of gluten-forming polypeptides. 1. Biosynthesis of gliadins and glutenin subunits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55. 9: 3655–3660.
- Altenbach, S. B.-Tanaka, C. K.-Hurkman, W. J.-Whitehand, L. C.-Vensel, W. H.-DuPont, F. M.*: 2011. Differential effects of a post-anthesis fertilizer regimen on the wheat flour proteome determined by quantitative 2-DE. *Proteome Science*. 9. 1: 46.
- Ayers, G. S.-Wert, V. F.-Ries, S. K.*: 1976. The relationship of protein fractions and individual proteins to seedling vigour in wheat. *Annals of Botany*. 40. 3: 563–570.
- Bedő Z.-Láng L.-Vida G.-Juhász A.-Karsai I.*: 1997. A minőségi tulajdonságok felértékelődése a búzanemesítésben. *Agro-21 Füzetek*. 23: 19–30.
- Békés F.*: 2014. A búza 'sütőipari minőség'-fogalom alakulása a kezdetektől napjainkig – a gabonavegyész szemével. Székfoglaló előadás. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest.
- Berecz, K.-Ragasits, I.*: 1990. Effect of nitrogen fertilization on the dry matter, nitrogen accumulation and amino acid content of wheat. *Pol'nohospodarstvo*. 36. 6: 489–499.
- Borojevic, S.-Williams, W. A.*: 1982. Genotype x environment interactions for leaf area parameters and yield components and their effects on wheat yields. *Crop Science*. 22. 5: 1020–1025.
- Bradbury, D.-Cull, I. M.-MacMasters, M. M.*: 1956. Structure of the mature wheat kernel I. Gross anatomy and relationships of parts. *Cereal chemistry*. 33. 6: 329–342.
- Bushuk, W.-Zillman, R. R.*: 1978. Wheat cultivar identification by gliadin electrophoregrams I. Apparatus, method and nomenclature. *Canadian Journal of Plant Science*. 58. 2: 505–515.
- Daniel, C.-Triboi, E.*: 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. *Journal of Cereal Science*. 32. 1: 45–56.
- Daniel, C.-Triboi, E.*: 2001. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the accumulation of gliadins analysed by RP-HPLC. *Functional Plant Biology*. 28. 12: 1197–1205.

- Denery-Papini, S.–Laurière, M.–Branlard, G.–Morisset, M.–Pecquet, C.–Choudat, D.–Merlino, M.–Pineau, F.–Popineau, Y.–Boulenc, E.–Bouchez-Mahiou, I.–Bodinier, M.–Moneret-Vautrin, D. A.*: 2007. Influence of the allelic variants encoded at the *Gli-B1* locus, responsible for a major allergen of wheat, on IgE reactivity for patients suffering from food allergy to wheat. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55. 3: 799–805.
- Dupont, F. M.–Altenbach, S. B.*: 2003. Molecular and biochemical impacts of environmental factors on wheat grain development and protein synthesis. *Journal of Cereal Science*. 38. 2: 133–146.
- Dupont, F. M.–Hurkman, W. J.–Vensel, W. H.–Tanaka, C.–Kothari, K. M.–Chung, O. K.–Altenbach, S. B.*: 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: effects of mineral nutrients and high temperature. *European Journal of Agronomy*. 25. 2: 96–107.
- DuPont, F. M.–Vensel, W. H.–Chan, R.–Kasarda, D. D.*: 2000. Characterization of the 1B-type ω -gliadins from *Triticum aestivum* cultivar Butte. *Cereal Chemistry*. 77. 5: 607–614.
- DuPont, F. M.–Vensel, W. H.–Tanaka, C. K.–Hurkman, W. J.–Altenbach, S. B.*: 2011. Deciphering the complexities of the wheat flour proteome using quantitative two-dimensional electrophoresis, three proteases and tandem mass spectrometry. *Proteome Sci*. 9: 10.
- FAOSTAT*: <http://www.fao.org/home/en/> 2014. 05. 28.
- Fido, R. J.–Bekes, F.–Gras, P. W.–Tatham, A. S.*: 1997. Effects of α -, β -, γ - and ω -gliadins on the dough mixing properties of wheat flour. *Journal of Cereal Science*. 26. 3: 271–277.
- Foulkes, M. J.–Hawkesford, M. J.–Barraclough, P. B.–Holdsworth, M. J.–Kerr, S.–Kightley, S.–Shewry, P. R.*: 2009. Identifying traits to improve the nitrogen economy of wheat: Recent advances and future prospects. *Field Crops Research*. 114. 3: 329–342.
- Fuertes-Mendizábal, T.–Aizpurua, A.–González-Moro, M. B.–Estavillo, J. M.*: 2010. Improving wheat breadmaking quality by splitting the N fertilizer rate. *European Journal of Agronomy*. 33. 1: 52–61.
- Gianibelli, M. C.–Masci, S.–Larroque, O. R.–Lafiandra, D.–MacRitchie, F.*: 2002. Biochemical characterisation of a novel polymeric protein subunit from bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Cereal Science*. 35. 3: 265–276.
- Godfrey, D.–Hawkesford, M. J.–Powers, S. J.–Millar, S.–Shewry, P. R.*: 2010. Effects of crop nutrition on wheat grain composition and end use quality. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58. 5: 3012–3021.
- Győri Z.*: 2006. A trágyázás hatása az őszi búza minőségére. *Agrofórum*. 9: 14–16.
- Győri, Z.*: 2008. Complex evaluation of the quality of winter wheat varieties. *Cereal Res. Commun.* 36. 2: 1907–1910.

- He, J.-Penson, S.-Powers, S. J.-Hawes, C.-Shewry, P. R.-Tosi, P.*: 2013. Spatial patterns of gluten protein and polymer distribution in wheat grain. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61. 26: 6207–6215.
- Jolánkai, M.*: 1985. Differences in fertilizer response due to winter wheat varieties. *Agrokémia és Talajtan. Supplement*. 34: 57–60.
- Kasarda, D. D.-Autran, J. C.-Lew, E. J. L.-Nimmo, C. C.-Shewry, P. R.*: 1983. N-terminal amino acid sequences of ω -gliadins and ω -secalins: implications for the evolution of prolamin genes. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Protein Structure and Molecular Enzymology*. 747. 1: 138–150.
- Kent, N. L.*: 1966. Subaleurone endosperm cells of high protein content. *Cereal Chem.* 43. 5: 585–601.
- Kent, N. L.-Evers, A. D.*: 1969. Variation in protein composition within endosperm of hard wheat. *Cereal Chemistry*. 46. 3: 293.
- Khatkar, B. S.-Fido, R. J.-Tatham, A. S.-Schofield, J. D.*: 2002a. Functional properties of wheat gliadins. I. Effects on mixing characteristics and bread making quality. *Journal of Cereal Science*. 35. 3: 299–306.
- Khatkar, B. S.-Fido, R. J.-Tatham, A. S.-Schofield, J. D.*: 2002b. Functional properties of wheat gliadins. II. Effects on dynamic rheological properties of wheat gluten. *Journal of Cereal Science*. 35. 3: 307–313.
- Kindred, D. R.-Verhoeven, T. M.-Weightman, R. M.-Swanston, J. S.-Agu, R. C.-Brosnan, J. M.-Sylvester-Bradley, R.*: 2008. Effects of variety and fertiliser nitrogen on alcohol yield, grain yield, starch and protein content, and protein composition of winter wheat. *Journal of Cereal Science*. 48. 1: 46–57.
- Kismanyoky, T.-Ragasits, I.*: 2003. Effects of organic and inorganic fertilization on wheat quality. *Acta Agronomica Hungarica*. 51. 1: 47–52.
- L. van Lili, D.-Purchase, J. L.-Smith, M. F.-Agenbag, G. A.-De Villiers, O. T.*: 1995. Multivariate assessment of environmental effects on hard red winter wheat. I. Principal-components analysis of yield and bread-making characteristics. *South African Journal of Plant and Soil*. 12. 4: 158–163.
- Láng I.-Csete L.-Jolánkai M.*: 2007. A globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok. A VAHAVA jelentés. Szaktudás Kiadó Ház, Budapest. (“Global climate changes, Hungarian impacts and responses”. VAHAVA Report. Published in Hungarian.)
- Liu, X.-Li, Q. C.-Wang, Z. L.-He, M. R.-Yin, Y. P.*: 2007. Effects of nitrogen rates on grain protein components and processing quality of wheat. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*. 13. 1: 70–76.
- Lu, C.-Hawkesford, M. J.-Barraclough, P. B.-Poulton, P. R.-Wilson, I. D.-Barker, G. L.-Edwards, K. J.*: 2005. Markedly different gene expression in wheat grown with organic or inorganic fertilizer. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 272. 1575: 1901–1908.

- Masci, S.–Egorov, T. A.–Ronchi, C.–Kuzmicky, D. D.–Kasarda, D. D.–Lafiandra, D.:* 1999. Evidence for the presence of only one cysteine residue in the D-type low molecular weight subunits of wheat glutenin. *Journal of Cereal Science*. 29. 1: 17–25.
- Masci, S.–Lafiandra, D.–Porceddu, E.–Lew, E. J. L.–Tao, H. P.–Kasarda, D. D.:* 1993. D-glutenin subunits: N-terminal sequences and evidence for the presence of cysteine. *Cereal Chemistry*. 70.
- Matsuo, H.–Morimoto, K.–Akaki, T.–Kaneko, S.–Kusatake, K.–Kuroda, T.–Niitara, H.–Hide, M.–Morita, E.:* 2005. Exercise and aspirin increase levels of circulating gliadin peptides in patients with wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Clinical & Experimental Allergy*. 35. 4: 461–466.
- Metakovsky, E. V.:* 1991. Gliadin allele identification in common wheat. II. Catalogue of gliadin alleles in common wheat. *J. Genet. Breed.* 45: 325–344.
- Morita, E.–Matsuo, H.–Mihara, S.–Morimoto, K.–Savage, A. W. J.–Tatham, A. S.:* 2003. Fast ω -gliadin is a major allergen in wheat-dependent exercise-induced anaphylaxis. *Journal of Dermatological Science*. 33. 2: 99–104.
- Moss, H. J.–Wrigley, C. W.–MacRitchie, R.–Randall, P. J.:* 1981. Sulfur and nitrogen fertilizer effects on wheat. II. Influence on grain quality. *Crop and Pasture Science*. 32. 2: 213–226.
- Normand, F. L.–Hogan, J. T.–Deobald, H. J.:* 1965. Protein content of successive peripheral layers milled from wheat, barley, grain sorghum, and glutinous rice by tangential abrasion. *American Association of Cereal Chemists*. 42. 4: 359–367.
- Palosuo, K.–Varjonen, E.–Kekki, O. M.–Klemola, T.–Kalkkinen, N.–Alenius, H.–Reunala, T.:* 2001. Wheat ω -5 gliadin is a major allergen in children with immediate allergy to ingested wheat. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 108. 4: 634–638.
- Pepó P.:* 2002. Őszibúza-fajták trágyareakciója eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 51. 2: 189–198.
- Pepó P.:* 2004. Az évjárat hatása az őszi búza termésmennyiségére tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 53. 4: 339–350.
- Pepó P.:* 2005. A tápanyagellátás és néhány agrotechnikai elem interaktív hatása az őszi búza termésmennyiségére és minőségére. Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: a modern növénytermesztés alapjai. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 192–199.
- Pepó P.:* 2006. A tápanyagellátás és néhány agrotechnikai elem kölcsönhatása az őszi búza termésmennyiségére és minőségére. *Gyakorlati Agroforum Extra*. 14. 10–12: b:12.
- Pepó, P.:* 2007. The role of fertilization and genotype in sustainable winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 917–920.
- Pollhamer E.-né.:* 1973. A búza minősége a különböző agrotechnikai kísérletekben (Martonvásár, 1963–1971). Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Pushman, F. M.–Bingham, J.:* 1975. Components of test weight of ten varieties of winter wheat grown with two rates of nitrogen fertilizer application. *The Journal of Agricultural Science*. 85. 3: 559–563.

- Pushman, F. M.–Bingham, J.:* 1976. The effects of a granular nitrogen fertilizer and a foliar spray of urea on the yield and bread-making quality of ten winter wheats. *The Journal of Agricultural Science*. 87: 281–292.
- Pushman, F. M.–Bingham, J.:* 1976. The effects of a granular nitrogen fertilizer and a foliar spray of urea on the yield and bread-making quality of ten winter wheats. *The Journal of Agricultural Science*. 87. 2: 281–292.
- Ragasits, I.–Balázs, J.–Berecz, K.:* 1996. Effect of slow-release N-fertilizers on yield and baking quality of winter wheat. *Fertilizers and Environment Springer Netherlands*. 237–240.
- Ragasits, I.–Debreczeni, K.–Berecz, K.:* 2000. Effect of long-term fertilisation on grain yield, yield components and quality parameters of winter wheat. *Acta Agronomica Hungarica*. 48. 2: 149–154.
- Rakszegi, M.–Békés, F.–Láng, L.–Tamás, L.–Shewry, P. R.–Bedő, Z.:* 2005. Technological quality of transgenic wheat expressing an increased amount of a HMW glutenin subunit. *Journal of Cereal Science*. 42. 1: 15–23.
- Sabelli, P. A.–Shewry, P. R.:* 1991. Characterization and organization of gene families at the *Gli-1* loci of bread and durum wheats by restriction fragment analysis. *Theoretical and Applied Genetics*. 83. 2: 209–216.
- Salgó, A.–Gergely, S.:* 2012. Analysis of wheat grain development using NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*. 56. 1: 31–38.
- Shewry, P. R.:* 2009. Wheat. *Journal of experimental Botany*. 60. 6: 1537–1553.
- Shewry, P. R.–D' Ovidio, R.–Lafiandra, D.–Jenkins, J. A.–Mills, E. N. C.–Békés, F.–Khan, K.:* 2009. Wheat grain proteins. *Wheat: Chemistry and Technology*. 223–298.
- Shewry, P. R.–Popineau, Y.–Lafiandra, D.–Belton, P.:* 2000. Wheat glutenin subunits and dough elasticity: findings of the EUROWHEAT project. *Trends in Food Science & Technology*. 11: 433–441.
- Shewry, P. R.–Tatham, A. S.–Forde, J.–Kreis, M.–Mifflin, B. J.:* 1986. The classification and nomenclature of wheat gluten proteins: a reassessment. *Journal of Cereal Science*. 4. 2: 97–106.
- Szentpétery Zs.:* 2004. A nitrogén-fejtrágyázás hatása a búza termésmennyiségére és minőségére nagyombosi kísérletekben. *Növénytermelés*. 53. 6: 547–558.
- Szentpétery Zs.–Jolánkai M.–Szöllősi G.:* 2005. Nitrogén-fejtrágyázás hatása a búza termésmennyiségére és minőségére. *Korszakváltás a hazai mezőgazdaságban: a modern növénytermesztés alapjai*. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 37–42.
- Tamás, C.–Kisgyörgy, B. N.–Rakszegi, M.–Wilkinson, M. D.–Yang, M. S.–Láng, L.–Tamás, L.–Bedő, Z.:* 2009. Transgenic approach to improve wheat (*Triticum aestivum* L.) nutritional quality. *Plant Cell Reports*. 28. 7: 1085–1094.
- Tanács L.–Véha A.–Petróczi I. M.:* 2006. Műtrágyával és fungiciddel kezelt *aestivum* búzák nedvessikér-tartalom, valorigráfos és alveográfos vizsgálatai, az évjáratok függvényében. *Növénytermelés*. 55. 5–6: 335–355.

- Tosi, P.–Gritsch, C. S.–He, J.–Shewry, P. R.*: 2011. Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. *Annals of Botany*. 108. 1: 23–35.
- Tosi, P.–Parker, M.–Gritsch, C. S.–Carzaniga, R.–Martin, B.–Shewry, P. R.*: 2009. Trafficking of storage proteins in developing grain of wheat. *Journal of Experimental Botany*. 60. 3: 979–991.
- Triboï, E.–Martre, P., –Triboï-Blondel, A. M.*: 2003. Environmentally-induced changes in protein composition in developing grains of wheat are related to changes in total protein content. *Journal of Experimental Botany*. 54. 388: 1731–1742.
- Uthayakumaran, S.–Tomoskozi, S.–Tatham, A. S.*: 2001. Effects of supplementing monomeric plant proteins on the functional properties of wheat dough. *Cereal Chemistry*. 77: 737–743.
- Wan, Y.–Gritsch, C. S.–Hawkesford, M. J.–Shewry, P. R.*: 2013b. Effects of nitrogen nutrition on the synthesis and deposition of the ω -gliadins of wheat. *Annals of Botany*. mct291.
- Wan, Y.–Shewry, P. R.–Hawkesford, M. J.*: 2013a. A novel family of γ -gliadin genes are highly regulated by nitrogen supply in developing wheat grain. *Journal of Experimental Botany*. 64. 1: 161–168.
- Wieser, H.–Bushuk, W.–MacRitchie, F.*: 2006. The polymeric glutenins. Gliadin and glutenin: the unique balance of wheat quality. *St. Paul American Association of Cereal Chemistry*. 213–240.
- Wieser, H.–Seilmeier, W.*: 1998. The influence of nitrogen fertilisation on quantities and proportions of different protein types in wheat flour. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 76. 1: 49–55.

A szerző levelezési címe – Adress of the author:

Horváth Csaba
Szent István Egyetem
Növénytermesztési Intézet
Gödöllő
Páter K. u. 1.
H-2103



NAGY JÁNOS főszerkesztő

a Magyar Tudományos Akadémia doktora,
Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ rektorhelyettese,
Széchenyi-díjas egyetemi tanára, az Aradi, a Nagyváradi
és a Kaposvári Egyetem „Honoris causa doktora”
az Ukrán Agrártudományi Akadémia külföldi tagja
Szakterülete: növénytermesztés, földművelés

növénytermesztés | növénynevelés | növénygenetika | növényélettan | agrobotanika
