

Crop  
Production

 HERMAN OTTÓ INTÉZET  
NONPROFIT KFT.

# NÖVÉNYTERMELÉS

68. kötet | 1. szám | 2019. március

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



Szárazság válaszhoz kapcsolt génkifejeződés vizsgálata nem-stresszelt búza növényekben

A hő- és szárazságstressz hatása az őszi búza bibe reaktív oxigén tartalmára, a lipid peroxidációra és a fertilitásra

Fungicid készítmények hatásának vizsgálata a kukorica szuperoxid-dizmutáz aktivitására és a lipidperoxidációra fóliasátras és szántóföldi kísérletben

[www.agrarlapok.hu](http://www.agrarlapok.hu)

# Növénytermelés

## CROP PRODUCTION

A Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. kiadásában,  
az Agrárminisztérium támogatásával megjelenő folyóirat  
a növénytermesztés, növénynevelés, 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 MÉK  
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.  
4002 Debrecen, Pf. 400  
Telefon: (06 52) 508-310  
Fax: (06 52) 508-460  
E-mail: [novenytermeles@agr.unideb.hu](mailto:novenytermeles@agr.unideb.hu)  
[szelesne@agr.unideb.hu](mailto:szelesne@agr.unideb.hu)

### **Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:**

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.  
Kiadói Osztály  
1223 Budapest, Park u. 2.  
Telefon: (06 1) 362-8100  
Fax: (06 1) 362-8104  
E-mail: [info@agrarlapok.hu](mailto:info@agrarlapok.hu)  
[www.hoi.hu](http://www.hoi.hu)  
[www.novenytermeles.hu](http://www.novenytermeles.hu)

A kiadásért felelős Dr. Béres András,  
a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

ISSN 0546-8191  
Növényterm 68 (2019) 1  
Printed in Hungary

# Növénytermelés

CROP PRODUCTION

68. kötet, 1. szám, 2019. március

*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,  
L. CS. MARTON, J. NAGY, P. PEPÓ, K. RAJKAI, R. SCHMIDT

AGRÁRMINISZTERIUM

A kiadásért felelős a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

A nyomást és kötést a Komáromi Nyomda és Kiadó Kft. végezte

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Dr. Csajbók József

ISSN 0546-8191

## TARTALOM

<i>Deák Csilla – Jäger Katalin – Nagy Veronika Anna – Oszlányi Réka – Barnabás Beáta – Papp István: Szárazság válaszhoz kapcsolt gének kifejeződés vizsgálata nem-stresszelt búza növényekben .....</i>	5
<i>Fábián Attila – Sáfrán Eszter – Szabó-Eitel Gabriella – Barnabás Beáta – Jäger Katalin: A hő- és szárazságstressz hatása az őszi búza bibe reaktív oxigén tartalmára, a lipid peroxidációra és a fertilitásra .....</i>	13
<i>Illés Árpád – Nagy Antal – Tóth Brigitta: Fungicid készítmények hatásának vizsgálata a kukorica szuperoxid-dizmutáz aktivitására és a lipidperoxidációra fóliasátras és szántóföldi kísérletben .....</i>	31
<i>Kaczur Dávid – Tóth Brigitta: Az alumínium toxikus tüneteinek mérséklése baktériumokat tartalmazó készítménnyel a kukorica korai növekedési stádiumában .....</i>	47
<i>Pepó Péter: Interaktív agrotechnikai hatások a hibridspecifikus kukorica (<i>Zea mays</i> L.) termesztésben .....</i>	69
SZEMLE	
<i>Vida Gyula: A durum búza eredete és taxonómiai besorolása .....</i>	85

## CONTENTS

<i>Cs. Deák – K. Jäger – V. A. Nagy – R. Oszlányi – B. Barnabás – I. Papp: Examination of expression of drought response-related genes in non-stressed wheat ...</i>	5
<i>A. Fábián – E. Sáfrán – G. Szabó-Eitel – B. Barnabás – K. Jäger: Effect of heat and drought stress on the reactive oxygen species content of stigma papilla cells, the lipid peroxidation and fertility in wheat .....</i>	13
<i>Á. Illés – A. Nagy – B. Tóth: Examination of the effect of fungicides on the activity of superoxid-dizmutase and rate of lipid peroxidation in maize in a polytunnel and a field experiment .....</i>	31
<i>D. Kaczur – B. Tóth: Reducing the toxic effects of aluminum with bacterial product in the early growth stage of maize .....</i>	47

<i>P. Pevó</i> : Interactive agrotechnical effects in the hybrid-specific maize ( <i>Zea mays</i> L.) production .....	69
REVIEW	
<i>Gy. Vida</i> : Origin and taxonomy of durum wheat .....	85

### СОДЕРЖАНИЕ

<i>Ч. Деак – К. Ягер – В. А. Надь – Р. Ослани – Б. Барнабаиш – И. Панн</i> : Исследование проявления гена, связанного с ответом на засуху, в нестрессовых растениях пшеницы .....	5
<i>А. Фабриан – Е. Шафран – Г. Сабо-Эител – Б. Барнабаиш – К. Ягер</i> : Влияние стресса тепла и засухи на содержание реактивного кислорода рыльца озимой пшеницы, на перекисное окисление липидов и на плодородность .....	13
<i>А. Иллеш – А. Надь – Б. Том</i> : Исследование влияния фунгицидных препаратов на активность супероксиддисмутазы кукурузы и на перекисное окисление липидов в тепличном и полевом опыте .....	31
<i>Д. Кауур – Б. Том</i> : Уменьшение токсичных симптомов алюминия препаратом, содержащим бактерии, в ранней стадии роста кукурузы .....	47
<i>П. Пено</i> : Интерактивные агротехнические влияния в выращивании гибридно специфичной кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.) .....	69
ОБЗОР	
<i>Д. Вида</i> : Происхождение пшеницы дурум и её таксономическая классификация .....	85

## Szárazság válaszhoz kapcsolt gének kifejeződés vizsgálata nem-stresszelt búza növényekben

<sup>1</sup>DEÁK CSILLA - <sup>2</sup>JÄGER KATALIN - <sup>1</sup>NAGY VERONIKA ANNA - <sup>1</sup>OSZLÁNYI RÉKA -  
<sup>2</sup>BARNABÁS BEÁTA - <sup>1</sup>PAPP ISTVÁN

<sup>1</sup>Szent István Egyetem Kertészettudományi Kar,  
Növényélettan és Növényi Biokémia Tanszék, Budapest

<sup>2</sup>Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont,  
Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

### Összefoglalás

Az aszálytűrés mechanizmusaiban fontosnak vélhető géneket tanulmányoztunk két szárazság toleráns ('Plainsman V', 'Mv Emese') és két vízhiányra érzékeny ('GK Élet', 'Cappelle Desprez') őszi búzafajtában. Egy dehidrin gén (*Wdhn13*), illetve C-ismétlődő régióhoz kötődő transzkripciós faktorok (*Cbf14*, *Cbf15*) expressziós szintjeit vizsgáltuk nem-stresszelt fiatal növényekben RT-qPCR-el. Feltételeztük, hogy a dehidratáció toleranciában ismert szerepű szabályozó és/vagy effektor gének hozzájárulhatnak a fajták eltérő viselkedéséhez. A *Wdhn13* expressziós szintje magasabb volt a toleráns fajtákban, mint a szenzitívekben, így valószínűsíthető összefüggés a gén korai, spontán kifejeződése és a stressz tolerancia között. A *Cbf14* gén kifejeződése csak az 'Plainsman V' fajtában volt jelentős. A *Cbf15* transzkriptum alig volt megfigyelhető a nem-stresszelt fiatal növények levelében. Hideg stressz esetében már ismert volt a *Cbf14* és *Cbf15* gének független szabályozása.

**Kulcsszavak:** búza (*Triticum aestivum* L.), szárazság stressz, dehidrin gének, CBF gének

## Examination of expression of drought response-related genes in non-stressed wheat

<sup>1</sup>CS. DEÁK – <sup>2</sup>K. JÄGER – <sup>1</sup>V. A. NAGY – <sup>1</sup>R. OSZLÁNYI – <sup>2</sup>B. BARNABÁS – <sup>1</sup>I. PAPP

<sup>1</sup>Szent István University, Faculty of Horticultural Sciences,  
Department of Plant Physiology and Plant Biochemistry, Budapest

<sup>2</sup>Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research,  
Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár

### Summary

We studied wheat genes considered important in drought hardiness, focusing on two water stress tolerant ('Plainsman V', 'Mv Emese') and two sensitive ('GK Élet', 'Cappelle Desprez') varieties. The expression levels of the dehydrin gene (*Wdhn13*) and transcription factors binding to the C repeat region (*Cbf14*, *Cbf15*) were examined in non-stressed seedlings with RT-qPCR. It was assumed that these known dehydration responsive effector and regulator genes may contribute to the different behavior of varieties under stress. The expression level of *Wdhn13* was higher in tolerant than in the mildly sensitive varieties. Therefore, a connection could be established between early, spontaneous expression of *Wdhn13* and drought stress tolerance of wheat. Expression of *Cbf14* was only noteworthy in 'Plainsman V'. The *Cbf15* transcript could hardly be detected in the leaves of non-stressed seedlings. In case of cold stress, independent regulation of the two Cbf genes has already been described.

**Key words:** wheat (*Triticum aestivum* L.), drought stress, dehydrin genes, CBF genes



## Исследование проявления гена, связанного с ответом на засуху, в нестрессовых растениях пшеницы

<sup>1</sup>Ч. ДЕАК – <sup>2</sup>К. ЯГЕР – <sup>1</sup>В. А. НАДЬ – <sup>1</sup>Р. ОСЛАНИ – <sup>2</sup>Б. БАРНАБАШ – <sup>1</sup>И. ПАПП

<sup>1</sup>Университет им.Св.Иштвана, Факультет Садоводчества,  
Кафедра Ботаники и Биохимии Растений, Будапешт

<sup>2</sup>Венгерская Академия Наук Исследовательский Центр Аграрных Наук,  
Институт Сельского Хозяйства, Мартонвашар

### Резюме

Исследовали предполагаемо важные в механизмах толеранции к засухе гены в двух сортах, толерантных к засухе ('Plainsman V', Mv Emese) и в двух, чувствительных к засухе, сортах (GK Élet, 'Cappelle Desprez'). Исследовали экспрессионные уровни генов фактора, связанного к повторяемому-С региону (*Cbf14*, *Cbf15*) и дегидрин гена (*Wdhn13*) в нестрессовых молодых растениях с qRT-PCR. Предполагаем, что регулировкой генов, известных как толерантных к дегидратации и/или эффектор генов, можно способствовать различному поведению сортов. Экспрессионный уровень *Wdhn13* был высоким в толерантных сортах и в низких синзетиваха. Транскрипцию *Cbf15* едва можно было обнаружить в листе молодых неподверженных стрессу растениях. В случае стресса от холода уже известна независимая регуляция двух генов.

**Ключевые слова:** пшеница (*Triticum aestivum* L.), стресс от засухи, дегидрин гены, гены *CBF*

### Bevezetés

A szárazságtűrés genetikai és fiziológiai hátterének felderítésében modern molekuláris biológiai technikák és klasszikus élettani módszerek nyújtanak segítséget. Ezek révén lehetőségünk van megtalálni azokat az élettani tényezőket, géneket, illetve szabályozó elemeket, melyek befolyásolhatják az ezzel a stresszel szembeni ellenállóságot.

A szárazság tolerancia egy összetett fenotípus, amelyet több tényező határoz meg (Ashraf 2010). Szárazság estén fokozódik a vízvesztés, melynek káros következményeinek elkerülésében segítséget nyújtanak az ún. LEA (Late Embryogenesis Abundant) fehérjék, amik ekkor nagy mennyiségben termelődnek, és képessé teszik az embriót a kiszáradás tolerálására (Graether és Boddington 2014). A LEA fehérjék egyik családja a magfejlődés mellett szárazság esetén is indukálódó dehidratációs fehérjék (dehidrinek).

Bizonyos transzkripciós faktorok, nevezetesen a CBF (C-repeat binding factor) gének expresszióját a dehidrinek indukciójához kapcsolják például a *Brachypodium distachyon* szárazság tolerancia válaszában (Ryu et al. 2014).

Génexpressziós vizsgálataink során arra kerestük a választ, hogy egy, az irodalmi adatokból ismeretes, feltételezhetően stressztoleranciában szerepet játszó dehidrin gén (*Wdhn13*) illetve az azt valószínűleg szabályozó Cbf transzkripciós faktorok miként fejeződnek ki az általunk vizsgált toleráns és szenzitív búza fajtákban nem-stresszelt növények levelében.

## Anyag és módszer

### *Kísérleti növény anyag*

Kísérleteinket két szárazságtoleráns fajtára, a martonvásári nemesítésű *Triticum aestivum* L. cv. Mv Emese-re illetve az amerikai eredetű *T. aestivum* L. cv. Plainsman V-ra alapoztuk. Az összehasonlítás érdekében további két szárazságra érzékeny genotípust vontunk be a kutatásunkba: a Gabonakutató Nonprofit Kft. által nemesített *T. aestivum* L. cv. GK Élet-et és a francia eredetű *T. aestivum* L. cv. Cappelle Desprez-t. A stressz faktorok elkerülése végett a növények háromhetes nevelése vízzel jól ellátott körülmények között, állandó 21 °C hőmérsékleten, 10/14 óra világos/sötét megvilágítási ciklussal, növénynevelő kamrában történt.

### *RNS kivonás, cDNS szintézis, qPCR*

Az RNS izolálását a elsőként kiterült levelek középső részéből folyékony nitrogénben, Tri Reagent (Molecular Research Center, Cincinnati, OH, USA) felhasználásával végeztük a gyártó utasításai szerint. Az RNS minták reverz transzkripcióját First strand cDNA synthesis kit-el (Fermentas, Vilnius, Lithuania) végeztük. A cDNS minták kiegyenlítéséhez felhasznált kontroll primer pár TalKa és TalKb kiválasztása irodalmi adatok alapján történt (Paolacci et al.

2009). A *Wdhn13* célgénnel folytatott vizsgálathoz *Kobayashi et al.* (2010) publikációjában közölt primer szekvenciák szolgáltak alapul. A *Cbf14* és *Cbf15* génekre specifikus primereket Galiba Gábor szolgáltatta a számunkra (MTA ATK Mezőgazdasági Intézet, Növényi Molekuláris Biológia Osztály). Az általunk használt primereket az 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. A qPCR-hez felhasznált kontroll és célgének primer párjai

Primer neve (1)	Primer szekvenciája (2)	Termék hossza (bp) (3)	Szekvencia azonosítója (4)
<i>TaL</i>	5'-GTAGCATTATGTTTGTGCCTTG-3' 5'-GGAGAGCCAGTCAAGACCCTCG-3'	350	Ta.2776
<i>Wdhn13</i>	5'-AGAACCAGTGTGTCAGATTTCCCT-3' 5'-ATTCTGCAAAGTAGCGGGTC-3'	361	AB076807
<i>Cbf14</i>	5'-TTGTCTCAACTTCGCCGACT-3' 5'-CCAAACCAGTGTCAATTCAA-3'	247	AY785901
<i>Cbf15</i>	5'-GTGTCTCAACTTCGCCGACT-3' 5'-ATGTGTCCAGGTCCATTTC-3'	336	EU076383

Table 1. Primer pairs of the control and target genes used for qPCR. (1) Primer name, (2) Primer sequence, (3) Product length (bp), (4) Sequence ID(13)

A kiegyenlített cDNS-ekkel végzett qPCR kísérletet egy Corbett Research gyártmányú Rotor Gene 6000 készüléssel végeztük, a gyártó alapján ajánlott amplifikálási paraméterek szerint. A primer tapadás 60 °C-on ment végbe. A reakció 55 cikluson keresztül ismétlődött. A real-time PCR eredmények kiértékeléséhez az általunk használt készülék Rotor-Gene 6000 Series Software 1.7 programját használtuk, azon belül pedig a „Comparative Quantitation Analysis” funkciót alkalmazva. Ez a szoftver a CT (Threshold cycle = CT) értékkel rokonítható TOP („Take Off Point”) pontokat adja meg, mely a nyers fluoreszcencia értékek második deriváltjának segítségével számolja ki azt a pontot, ami a görbe exponenciális szakaszának a kezdetét jelenti (*McCurdy et al.* 2008). Ezen értékeket alapul véve, meghatározhatóak a különbségek az egyes minták között. Az eredményeket relatíve kvantifikáltuk, az alábbi egyenletet felhasználva:  $\Delta C_T = C_T$  (célgén) -  $C_T$  (referencia), ahol a  $\Delta C_T$  értéke megadja számunkra a kontroll és kezelt minták küszöbérték-ciklusszáma közötti különbségeket. Ezt

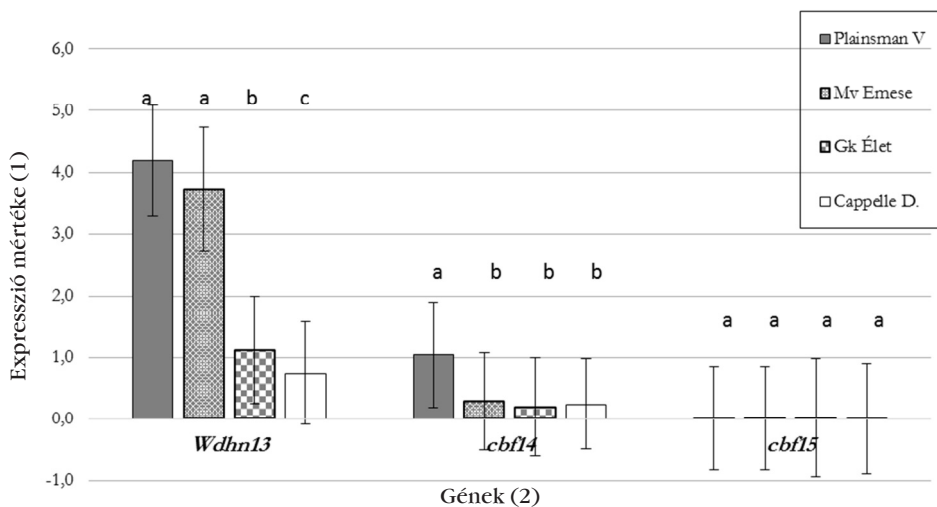
követően az expresszióbeli különbség megállapítása a kettőnek az így nyert érték szerint negatív hatványra emelésével történt:  $2^{-\Delta C_T}$ . Így megkaptuk, hogy a referencia génhez (TaL) képest mekkora a vizsgált gének expressziós szintje.

Az RT-qPCR alapján kapott expressziós szintek közötti különbség szignifikanciájának meghatározásához One-way ANOVA és post-hoc Tukey HSD tesztet alkalmaztunk.

## Eredmények

Az adatok alapján elmondható, hogy a három hetes nem-stresszelt fiatal növények esetében a *Wdhn13* kizárólag a toleráns fajtákban ('Plainsman V' és 'Mv Emese') expresszálódik erősen (1. ábra).

1. ábra. RT-qPCR-el mért génexpressziós szintek háromhetes növények levelében



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt értékek szignifikánsan eltérnek egymástól  $p < 0,05$  valószínűségi szinten.

Figure 1. Rates of the gene expression measured with qPCR in three week old plants. (1) Level of expression, (2) Genes, Note: Values indicated with various letters significantly differ from each other at the probability level of  $p < 0.05$ .

A *Cbf14* mRNS szintjei alapvetően mérsékeltek, a legmagasabb a 'Plainsman V' fajtánál figyelhető meg. A *Cbf15* gén kifejeződése genotípustól függetlenül alacsony marad. A qPCR eredményeket számszerűsítve elmondható, hogy a

'Plainsman V' esetében a *Wdhn13* kifejeződése 9x-es, míg az Mv Emesénél ez 8,5x-os a másik két fajtához képest ('Gk Élet', 'Cappelle Desprez').

### Következtetések

*Rorat et al.* (2006) megfigyelései szerint öt *Solanaceae* faj és árpa fiatal, fejlődő leveleire magas dehidrin fehérje szint volt jellemező stressz hiányában is. Hasonlóan a fiatal napraforgóban a fény indukálta dehidrint kódoló génhez (*HaDhn1*), mely szintén környezeti stressz nélkül nyilvánult meg (*Natali et al.* 2007). Ez felvetette számunkra azt a kérdést, hogy vajon stresszmentes körülmények között búza esetében is történik-e DHN és/vagy Cbf gének expressziója. Annak érdekében, hogy minimalizáljuk a stressz faktorokat, a búza növényeket vízzel jól ellátva és állandó hőmérséklet mellett neveltük. A célgén kifejeződését kvantitatív RT-qPCR-el vizsgáltuk.

A legmagasabb expressziós szinteket a *Wdhn13* és *Cbf14* gének esetében a toleráns genotípusoknál láthatjuk ('Plainsman V', 'Mv Emese'), szemben a *Cbf15*-tel, ahol genotípustól függetlenül alacsony marad a kifejeződés. Hideg stressz esetében szintén megfigyelték, hogy ez a két Cbf gén különbözőképpen szabályozódott (*Knox et al.* 2008). A fenti eredményeink azt sugallják, hogy a két gént nem csak stressz esetén, de normál körülmények között is különböző mechanizmusok szabályozhatják. Valószínűsíthető továbbá összefüggés a *Wdhn13* dehidrin gén korai, spontán kifejeződése és a stressz tolerancia között.

### Irodalom

- Ashraf, M.*: 2010. Inducing drought tolerance in plants: Recent advances. *Biotechnology Advances*. 28. 1: 169–183.
- Graether, S. P.–Boddington, K. E.*: 2014. Disorder and function: a review of the dehidrin protein family. *Plant Science*. 5. 576: 1–12.
- Knox, A. K.–Li, C. Vágújfalvi, A.–Galiba, G.–Stockinger, E. J.–Dubcovsky, J.*: 2008. Identification of candidate CBF genes for the frost tolerance locus Fr-Am2 in *Triticum monococcum*. *Plant Mol. Biol.* 67. 3: 257–270.
- Kobayashi, F.–Takumi, S.–Handa, H.*: 2010. Identification of quantitative trait loci for ABA responsiveness at the seedling stage associated with ABA-regulated gene expression in common wheat. *Theor. Appl. Genet.* 121. 4: 629–641.

- McCurdy, R. D.–McGrath, J. J.–Mackay-Sim, A.: 2008. Validation of the comparative quantification method of real-time PCR analysis and a cautionary tale of house-keeping gene selection. *Gene Therapy and Molecular Biology*. 12: 15–24.
- Natali, L.–Giordani, T.–Lercari, B.–Maestrini, P.–Cozza, R.–Pangaro, T.–Cavallini, A.: 2007. Light induces expression of a dehydrin-encoding gene during seedling de-etiolation in sunflower (*Helianthus annuus* L.). *J. Plant Physiol.* 164. 3: 263–273.
- Paolacci, A. R.–Tanzarella, O. A.–Porceddu, E.–Ciaffi, M.: 2009. Identification and validation of reference genes for quantitative RT-PCR normalization in wheat. *BMC Molecular Biology*. 10: 11.
- Rorat, T.: 2006. Plant dehydrins–tissue location, structure and function. *Cell. Mol. Biol. Lett.* 11. 4: 536–556.
- Ryu, J. Y.–Hong, S. Y.–Jo, S. H.–Woo, J. C.–Lee, S.–Park, C. M.: 2014. Molecular and functional characterization of cold-responsive C-repeat binding factors from *Brachypodium distachyon*. *BMC Plant Biol.* 14: 15.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Deák Csilla – Nagy Veronika Anna – Oszlányi Réka – \*Dr. Papp István  
SZIE Kertészettudományi Kar  
Növényélettan és Növényi Biokémia Tanszék  
Budapest  
Villányi út 29–43.  
H-1118  
\*papp.istvan@kertk.szie.hu

Dr. Jäger Katalin – Dr. Barnabás Beáta  
MTA ATK Mezőgazdasági Intézet  
Martonvásár  
Brunszvik u. 2.  
H-2462

## A hő- és szárazságstressz hatása az őszi búza bibe reaktív oxigén tartalmára, a lipid peroxidációra és a fertilitásra

FÁBIÁN ATTILA – SÁFRÁN ESZTER – SZABÓ-EITEL GABRIELLA –  
BARNABÁS BEÁTA – JÄGER KATALIN

Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont,  
Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

### Összefoglalás

A virágzás idején jelentkező magas hőmérséklet és szárazság egyike a legjelentősebb terméscsökkentő tényezőknek. A hő- és szárazságstressz által kiváltott fertilitás csökkenést általában a pollen fokozott érzékenységének tulajdonítják, míg a bibe szöveteinek szerepét alábecsülik. Eredményeink szerint a búzában a virágzást megelőzően alkalmazott hő- és szárazságstressz következtében kialakuló alacsony fertilitáshoz nagyban hozzájárul a bibe szövetek működési zavara is. Két, az alkalmazott stresszel szemben eltérő érzékenységet mutató fajta segítségével vizsgáltuk a bibe papilla sejtek reaktív oxigén fajta tartalma, a lipid peroxidáció mértéke és a sikeres megtermékenyítés között feltételezett kapcsolatot. Gyök- és vegyületspecifikus fluoreszcens indikátorok segítségével mértük az általános oxidatív stressz mértékét, a nitrogén-monoxid tartalmat és a lipid peroxidációt a bibepapilla sejtekben. A kezelés hatására az oxidatív stressz és a lipid peroxidáció szignifikánsan nagyobb mértékben nőtt a hő- és szárazságstresszre érzékeny 'Cappelle Desprez' fajta bibéiben. Ezzel szemben a nitrogén-monoxid mennyisége jelentősen csökkent az érzékeny fajta kezelt bibéiben, különösen az alacsony fertilitást mutató felső kalászcsoportban, ami a nitrogén-monoxid megtermékenyítésben betöltött fontos szerepét támasztja alá.

**Kulcsszavak:** magas hőmérséklet, szárazság, őszi búza, reaktív oxigén fajták, fertilitás, bibepapilla

## **Effect of heat and drought stress on the reactive oxygen species content of stigma papilla cells, the lipid peroxidation and fertility in wheat**

A. FÁBIÁN - E. SÁFRÁN - G. SZABÓ-EITEL - B. BARNABÁS - K. JÄGER  
Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research,  
Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár

### **Summary**

Combined heat and drought stress around flowering have a deleterious effect on the yield of winter wheat. Although decrease in fertility after heat and drought stress is generally accounted on pollen dysfunction, the damage suffered by the stigma is another potential factor. Our results confirmed that heat and drought stress applied before anthesis induced the damage of stigma papilla cells, which contributed to the yield decrease. Hypothetical connection between the amount of reactive oxygen species, as well as lipid peroxidation in stigma papilla cells, and fertility was investigated using two genotypes possessing different heat and drought tolerance. General oxidative stress, nitrogen monoxide content and lipid peroxidation were monitored using fluorescent indicators. The level of oxidative stress and lipid peroxidation were elevated to a significantly higher extent in the stigma papilla cells of susceptible 'Cappelle Desprez' compared to the tolerant 'Plainsman V' genotype. On the contrary, amount of nitrogen monoxide decreased in 'Cappelle Desprez' parallel with fertility following the treatment, indicating the important role of this compound in fertilization.

**Key words:** high temperature, drought stress, winter wheat, oxidative stress, fertility, stigma



## **Влияние стресса тепла и засухи на содержание реактивного кислорода рыльца озимой пшеницы, на перекисное окисление липидов и на плодородность**

А. ФАБИАН – Е. ШАФРАН – Г. САБО-ЭИТЕЛ – Б. БАРНАБАШ – К. ЯАГЕР  
Венгерская Академия Наук Исследовательский Центр Аграрных Наук,  
Институт Сельского Хозяйства, Мартонвашар

### **Резюме**

Появляющаяся во время цветения высокая температура и засуха являются одним из самых значительных факторов уменьшения урожая. Сокращение плодородности, вызванное стрессом тепла и засухи, обычно объясняем повышенной чувствительностью поллена, а роль материи рыльца недооценивают. Согласно нашим результатам в пшенице возникшая вследствие применения стресса тепла и засухи до цветения низкой плодородности способствует в большой мере нарушение деятельности тканей рыльца также. С помощью двух, показывающих разную чувствительность к применённому стрессу, сортов исследовали предполагаемую связь между содержанием реактивного кислорода сосочными клетками рыльца, размеров липидной перекисидации и успешным оплодотворением. С помощью флюоресцентных индикаторов радикалов и специфических соединений измеряли размер обычного окислительного стресса, содержание оксида азота и липидную перекисидацию в сосочных клетках рыльца. Под влиянием обработки окислительный стресс и липидная перекисидация выросли в более значительном размере в рыльцах чувствительного к стрессу тепла и засухи сорта 'Cappelle Desprez'. Несмотря на это количество оксида азота значительно уменьшилось в обработанных рыльцах этого чувствительного сорта, особенно показывающую низкую плодородность в верхней части колоса, что подтверждает важную роль оксида азота в оплодотворении.

**Ключевые слова:** высокая температура, засуха, озимая пшеница, реактивные виды кислорода, плодородность, сосочки рыльца

## Bevezetés

A búza a világ egyik legfontosabb, az emberi táplálkozásban és az állati takarmányozásban is vezető szereppel bíró gabonaféle (Sheury 2009), amelyet 2016-ban a legnagyobb vetésterületen termesztettek (220 millió hektár) a világon, közel 750 millió tonna betakarított terméssel (FAOSTAT 2016). Bár a búza hektáronkénti termésátlaga folyamatosan emelkedik, az előrejelzések szerint ez sem lesz elegendő a jövőben a folyamatosan növekvő emberi populáció táplálásához (Ray et al. 2013). Ezért a folyamatban lévő klímaváltozást is figyelembe véve, a búzanemesítők egyik legfontosabb célja a termésbiztonság növelése kedvezőtlen környezeti feltételek alatt (Lamaoui et al. 2018). Az abiotikus stressztényezők közül kiemelhető a magas hőmérséklet és a vízhiány, mint a legjelentősebb termés-csökkentő tényezők (Lesk et al. 2016). A virágzás idején egyidejűleg jelentkező hő- és szárazságstressz jelentős terméskiesést okoz (Barnabás et al. 2008), melyet általában a pollen fokozott stresszérzékenységének tulajdonítanak (Saini és Aspinall 1982, Saini et al. 1984, Lalonde et al. 1997), míg a női virágszervek sérülését kisebb jelentőségűnek tartják (Hedhly 2011, Giorno et al. 2013).

A pászitfűfélék családjának más tagjaihoz hasonlóan a búza (*Triticum aestivum* L.) száraz, kétágú tollas bibével rendelkezik (Heslop-Harrison és Heslop-Harrison 1980, Heslop-Harrison 1992), mely jól alkalmazkodott a szél általi megporzáshoz, bár kedvező környezeti feltételek esetén a megtermékenyítés elsődlegesen önmegporzás által történik (Percival 1921). Környezeti stressz esetén a virágok nagyobb mértékben nyílnak ki, mely kedvez az idegenmegporzásnak (Waines és Hegde 2003, Okada et al. 2018). A bibe szövetei többféle feladatot is ellátnak a megporzás során, amelyek mindegyike alapvető jelentőségű a sikeres megtermékenyítés szempontjából: a landoló felület a pollenek számára és annak hidratációja, a pollentömlő irányítása kémiai jelekkel, valamint útjának biztosítása a petekészülék felé (Heslop-Harrison 1979, Bailing és Ruilin 1991). A felsorolt négy feladatból három a bibe másodlagos, receptív ágainak felszínén megy végbe. A búza esetében ezek a bibeszálak négy sorban elhelyezkedő papilla sejtekből állnak, melyek alapi része építi fel azok tengelyét. A papillasejtek erősen vakuolizáltak, sejtmagjuk központi helyzetű, míg sejtplazmájuk vékony, a sejtfalhoz közeli rétegben helyezkedik el (Heslop-Harrison és Heslop-Harrison 1980, Bailing és Ruilin 1991). A megporzásban betöltött központi szerepük ellenére a termő, és főként a bibe által a hő- és

szárazságstresszre adott választ ezidáig kevésbé vizsgálták (*Saini et al.* 1983). Megállapítást nyert, hogy a virágzást megelőzően magas hőmérsékletnek kitett búza növények bibéi kiszáradtak, pollen fogó képességük pedig lecsökkent (*Prasad és Djanaguiraman* 2014).

Más stresszhatásokhoz hasonlóan a magas hőmérséklet és a vízhiány a reaktív oxigén- és nitrogénfajták (ROF és RNF) nagymértékű termelődéséhez vezet (*Hasanuzzaman et al.* 2012, *Choudhury et al.* 2017, *Zandalinas et al.* 2018), melyek a molekuláris oxigén és nitrogén részben redukált, illetve aktivált származékai (*del Río* 2015). Ezen vegyületek kis mennyiségben termelődnek kedvező körülmények között is, elsősorban a zöld színtestekben, a mitokondriumokban, a peroxiszómákban, valamint az apoplastban. Legfontosabb típusaik a szinglet oxigén ( $^1O_2$ ), a szuperoxid anion gyök ( $O_2^{\cdot-}$ ), a hidrogén peroxid ( $H_2O_2$ ), a hidroxil gyök ( $OH^{\cdot}$ ), a nitrogén-monoxid (NO) és a peroxinitrit ( $ONOO^-$ ) (*Molassiotis és Fotopoulos* 2011, *Demidchik* 2015). Élettartamuk és reaktivitásuk erősen változó (*Waszczak et al.* 2018), fehérje-, szénhidrát- és lipid oxidáló tulajdonságuk által hatékonyan csökkentik a sejtek szerkezeti integritását (*Vandelle és Delledonne* 2011, *Demidchik* 2015). Az utóbbi évtized során a ROF és RNF molekuláknak a fejlődési és stresszválasz folyamatok jelátvitelében betöltött szerepe is ismertté vált (*Waszczak et al.* 2018). Bár a bibe szövetek fejlődési folyamatokkal és a pollen inkompatibilitással kapcsolatos oxidáló molekula tartalomban bekövetkezett változásairól rendelkezünk bizonyos ismeretekkel (*Serrano et al.* 2010, *Domingos et al.* 2015, *Zafra et al.* 2016), a szakirodalomban nem találunk adatokat a stresszhatások által a bibében kiváltott ROF és RNF termelődést illetően. Mivel az ivaros folyamatok hővel és szárazsággal szembeni érzékenysége jól ismert, feltételezhető, hogy ezek a vegyületek fontos szerepet játszanak a fertilitás, és végső soron a termés csökkenésében.

Munkánk célja volt, hogy megvizsgáljuk az őszi búza bibe szöveiben bekövetkező, a virágzást megelőzően alkalmazott magas hőmérséklet és vízhiány által kiváltott, a ROF és RNF tartalmat, valamint a lipid peroxidációt érintő változásokat. Annak érdekében, hogy a reaktív gyök tartalom (tehát az oxidatív károsodás) és a fertilitás csökkenése közötti kapcsolatot feltárjuk, valamint meghatározzuk a pollen és bibe károsodásának hatását a fertilitás csökkenésére, megporzási vizsgálatokat is végeztünk. Korábbi eredményeink szerint (*Fábián et al.* 2011, *Jäger et al.* 2008, 2014) a 'Cappelle Desprez' és a 'Plainsman V' fajták eltérő szemkötési érzékenységet mutattak a szárazságstressz hatására, ezzel megfelelő alanyt szolgáltatva jelen vizsgálatainkhoz.

## Anyag és módszer

### *Növényanyag és a növénynevelés körülményei, stresszkezelés*

Kísérleteinkben két őszi búza genotípust, a szárazsággal szemben toleráns 'Plainsman V'-öt és a szárazságra érzékeny 'Cappelle Desprez'-t alkalmaztuk (Fábián et al. 2011, Jäger et al. 2014). A növényeket (n=50 db/fajta/kezelés) 7 hét vernalizációt (4 °C) követően egyenként 2 kg talajt tartalmazó cserepekben neveltük fitotroni klímakamrákban, a T1 klímaprogram alkalmazásával (Tischner et al. 1997) optimum körülmények között a mikrospora fejlődés egymagvas állapotáig (KE állapot), napi 150 ml öntözéssel. A főkalászaikban KE állapotot elérő növények kiválogatásra kerültek, majd a kontroll vagy a kezelést biztosító klímakamrákba helyeztük át őket. Az alkalmazott magas hőmérsékleti és szárazság stresszt (HSZ) teljes vízmegvonás és 32/22 °C maximális nappali/éjszakai hőmérséklet KE állapottól antézisig tartó, öt napon keresztül történő egyidejű alkalmazásával értük el. A kísérlet során alkalmazott fényintenzitás 300  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  volt. Az antézis napján a kezelt növényeket megöntöztük és kontroll körülmények között teljes érésig felneveltük. A továbbiakban leírt mintavételek és mérések három biológiai és három technikai ismétlésben kerültek kivitelezésre.

### *A fertilitás meghatározása*

A kontroll és kezelt növények főkalászeit (n=20 fajtánként és kezelésként) teljes érést követően betakarítottuk. A kalásonkénti virág- és szemszám meghatározása után az egyes kezelésekre és fajtákra jellemző fertilitást számítottuk ki.

### *Megporzási kísérletek*

A HSZ stressz által okozott bibe károsodás fertilitásra mutatott hatását 'Cappelle Desprez' növényeken (n=90) vizsgáltuk. A növényeket egy kontroll és egy HSZ stressz kezelt csoportba osztottuk. Ezen belül a kontroll csoportot négy alcsoportra osztottuk: 0) pollen donor növények (n=30); a) szabad elvirágzású, sértetlen virágú kalászok (n=15); b) a kasztrálás során fellépő sérülések szimulálása érdekében felnyitott virágok (a toklászok felső harmadának eltávolítása, a másodlagos, középső virágok eltávolítása két nappal az antézist megelőzően, n=15); valamint c) az antézist megelőzően két nappal kasztrált kalászok (n=30). A kezelt csoportot a kontroll alapján a), b) és c) csoportokra bontot-

tuk. A kalászokat cellofán zacskókkal izoláltuk a környező egyedek kalászeitól. Az antézis idején mind a kontroll, mind pedig a HSZ kezelt egyedek c) csoportba tartozó kalászeit a kontroll pollen donor növényekről származó pollennel (0 csoport) poroztuk meg, majd a növényeket teljes érésig neveltük kontroll körülmények között. A főkalások fertilitás értékeit két kalászfélre (alsó, felső) számítottuk ki. A kísérletet két ismétlésben végeztük el.

#### *A bibepapilla sejtek szerkezeti változásainak értékelése*

A kontroll és kezelt növények bibéit az antézis idején levágtuk, 5  $\mu\text{M}$  Syto-63 fluoreszcens festéket tartalmazó Tris-HCl pufferben (10 mM, pH 7,4) sötétben inkubáltuk 10 percen át szobahőmérsékleten, majd három percen át Tris-HCl pufferben mostuk. Mivel a Syto-63 eltérő erősséggel festi meg a sejtmagot és a citoplazmát, általános festésként alkalmaztuk a bibepapilla sejtek szerkezetének vizsgálatára, Leica SP-8 konfokális lézer pásztázó mikroszkóp segítségével (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Németország). A festéket a 633 nm-es lézervonal segítségével gerjesztettük, a kibocsátott fluoreszcenciát pedig 650 és 700 nm között detektáltuk. Áteső fényű detektor segítségével egyidejűleg differenciál interferencia kontraszt módban is felvételeket készítettünk a sejtekről.

#### *A ROF, RNF mennyiségének és a lipid peroxidáció mértékének mérése*

A méréseket kezelésként és fajtánként hat főkalász alsó és felső kalászfélben végeztük el. A mintavétel az antézis napján történt. Az alsó és felső kalászfélből mérésenként 5-5 termőt távolítottunk el, melyeket az adott fluoreszcens próbát tartalmazó Tris-HCl pufferben sötétben inkubáltuk, majd három ízben három percen keresztül mostuk festéket nem tartalmazó pufferben. Ezután a bibéket eltávolítottuk a termőkről, majd azonnal képeket készítettünk a sejtekről Leica SP8 konfokális lézer pásztázó mikroszkóp segítségével (Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Németország). Az általános oxidatív stressz mértékének megállapítása 2',7'-diklorodihidrofluorescein diacetát ( $\text{H}_2\text{DCFDA}$ , Sigma) segítségével történt, melyet 10  $\mu\text{m}$  végkoncentrációban alkalmaztunk 30 percen át, 37 °C-on. A gerjesztés 488 nm-en, a szignál detekció 517–527 nm között történt. A nitrogén-monoxid mennyiségének (NO) mérése 4-amino-5-metilamino-2',7'-difluorofluorescein diacetát (DAF FM-DA, Thermo Fisher Scientific) felhasználásával történt, melyet 10  $\mu\text{m}$  végkoncentrációban, szobahőmérsékleten 60 percen át alkalmaztunk. A festék gerjesztése 488 nm-en, a

fluoreszcens jel detekciója 500 és 580 nm között történt. A lipid peroxidáció mértékét C11-BODIPY™ 581/591 (Thermo Fisher Scientific) festék felhasználásával becsültük meg, melyet 1 µM végkoncentrációban 37 °C-on, 30 percen át alkalmaztunk. A festék nem oxidált formáját 561 nm-en gerjesztettük, és 570–620 nm között detektáltuk, míg az oxidált formát 488 nm-en gerjesztettük és 500–560 nm között detektáltuk. Minden mikroszkópiával kapcsolatos beállítást (lézer erősség, detektor beállítások) állandó értéken tartottunk a kísérletek ismétlései során.

#### *A fluoreszcens jelek számszerűsítése*

A fluoreszcens jelek mérését a Leica Advanced Fluorescence program (v3.1.5.1638, Leica Microsystems GmbH, Wetzlar, Németország) segítségével végeztük el. Kezelésenként és fluoreszcens próbánként 60 képen, képenként 10 mérőhelyen gyűjtöttünk adatokat. A mérésekből kizártuk a nem specifikus fluoreszcenciát mutató területeket (pl. sejtfalak). Az oxidált BODIPY™ 581/591 C11 részarányát a következőképpen számítottuk ki:

$$\%_{\text{oxidált}} = \frac{\text{Intenzitás}_{\text{oxidált}(500-560\text{nm})}}{\text{Intenzitás}_{\text{oxidált}(500-560\text{nm})} + \text{Intenzitás}_{\text{nem oxidált}(570-620\text{nm})}} * 100$$

#### *Statisztikai elemzés*

Az adatok statisztikai értékelése az SPSS for Windows 10.0 programmal, varianciaanalízis alkalmazásával történt.

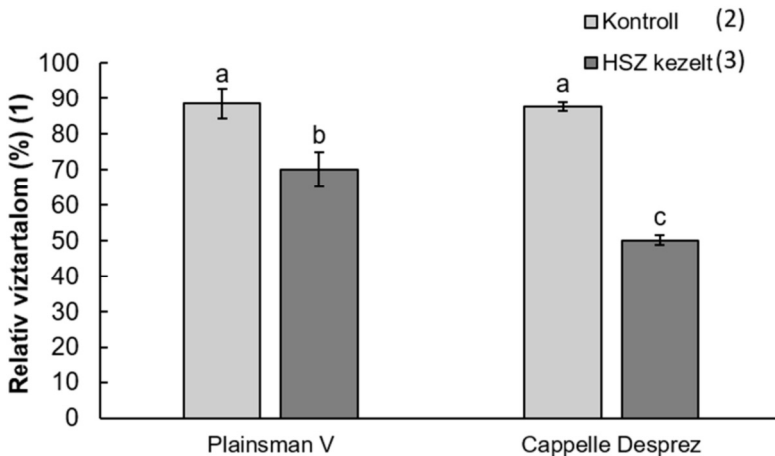
## **Eredmények**

#### *A hő és a szárazság hatása a vegetatív és generatív szervekre*

Az öt napon át tartó HSZ kezelés jelentős csökkenést okozott a kezelt növények zászlosleveleiben, mely a 'Cappelle Desprez' esetében szignifikánsan nagyobb mértékű volt (1. ábra). A kezelt 'Cappelle Desprez' növények bibéi zsugorodást mutattak, rajtuk kevesebb receptív elágazás volt megfigyelhető. A kontroll növények bibe papilla sejtjeiben a korong alakú sejtmag a sejtet kitöltő nagy vakuólumok közé szorosan beékelődött. A sejtplazma a sejtfalhoz közel, vékony rétegben helyezkedett el, ez alól kivételt csupán a sejt csúcsi részén elhelyezkedő bibepapilla jelentett, melyet nagyrészt kitöltött a sejtplazma

(2A. ábra). A kezelt 'Plainsman V' növények bibéiben a kontrollhoz képest jelentős változást nem figyeltünk meg. A kezelés hatására a 'Cappelle Desprez' kalászkok felső kalászfeléből származó virágok papilla sejtjeiben a sejtmagok gömb alakot vettek fel (2B. ábra). A sejtplazma szakadozott képet mutatott, és elmozdult a sejt külső régiójából. Az antézis a kezelés hatására mindkét fajtában két nappal korábban következett be, míg a 'Plainsman V' genotípus kontroll és kezelt kalászáinak morfológiája között nem volt eltérés, addig a 'Cappelle Desprez' kalászkok felső felében a virágok sárgultak, amely együtt járt a felső kalászfél alacsony fertilitásával.

1. ábra. A 'Cappelle Desprez' és a 'Plainsman V' búzafajták kontroll és HSZ kezelt zászlósleveleinek relatív víztartalma ( $\pm$ standard eltérés)



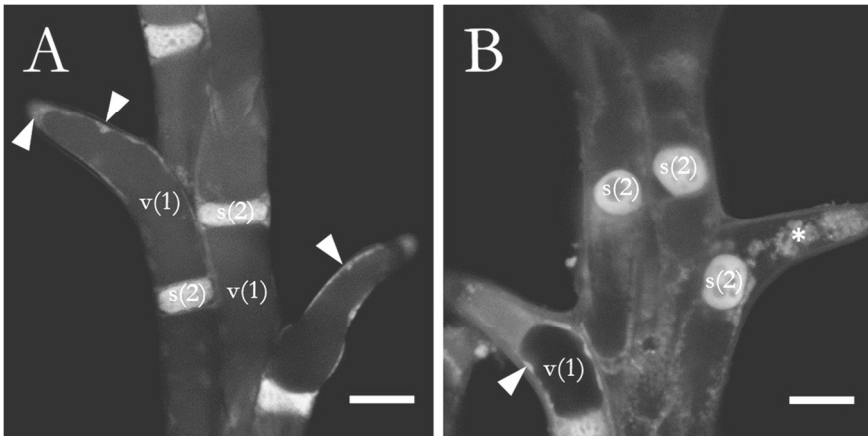
Megjegyzés: az oszlopok feletti betűk különbözősége az átlagértékek szignifikáns,  $P \leq 0,005$  valószínűségi szintű eltérést jelöli.

Figure 1. Relative water content of control and treated 'Cappelle Desprez' and 'Plainsman V' flag leaves. (1) Relative water content, (2) Control, (3) Heat and drought treated, Note: different letters within a column show significant differences between mean values at the  $P < 0.005$  level of probability.

*A virág helyzetének, a toklászok visszavágásának, illetve a HSZ stressz kezelés által kiváltott pollen- és bibesérüléseknek a fertilitásra kifejtett hatása*

A 'Plainsman V' fajta fertilitása nem változott jelentősen a HSZ kezelés hatására. Ezzel ellentétben, a 'Cappelle Desprez' főkalászkok alsó kalászfelének fertilitása 39%-kal, felső kalászfelének fertilitása 56%-kal csökkent (1. táblázat).

2. ábra. A kontroll (A) és HSZ kezelt (B) 'Cappelle Desprez' bibe papilla sejtek szerkezete



Megjegyzés: rövidítések - s: sejtmag, v: vakuólum, nyílhegy: sejtplazma, csillag: sérült sejtplazma. Bar: 10  $\mu$ m.

Figure 2. Structure of control (A) and heat and drought treated (B) 'Cappelle Desprez' stigma papilla cells. Note: (1) Vacuole, (2) Nucleus, Arrowhead: cytoplasm, Asterisk: damaged cytoplasm, Bar: 10  $\mu$ m.

A virágok helyzetének, a kasztrálás során bekövetkező sérüléseknek, valamint a pollen és a bibe stresszkezelésből adódó károsodásainak felmérése érdekében megporzási kísérletet végeztünk a 'Cappelle Desprez' fajta növényein. Mind a kontroll, mind pedig a kezelt virágok kalászban elfoglalt helye befolyásolta a fertilitást, mely a felső kalászfélben szignifikánsan alacsonyabb (3. ábra). A kontroll kalászok pelyváinak, valamint külső és belső toklászainak méretük kétharmadára történő visszavágása, valamint a középső virágok eltávolítása kalászfélről függetlenül szignifikánsan csökkentette a fertilitást. A szabad elvirágzású, sértetlen kalászokhoz viszonyítva a HSZ stressz kezelés szignifikáns, 55, illetve 57%-os fertilitás csökkenést idézett elő a felnyitott, szabad elvirágzású illetve a felnyitott, kontroll pollennel porzott kalászok tekintetében. A szabad elvirágzású kalászok esetében jelentős különbség mutatkozott a kalászok alsó (47%) és felső (63%) részének fertilitása között. A HSZ kezelés által okozott fertilitás csökkenés átlagosan 57%-os volt, melyből 16%-ért a női ivarszervek károsodása tehető felelőssé, feltehetően a bibe papilla sejtek működési zavara miatt. Míg a pollen működési zavarának betudható fertilitás csökkenés a kalász mindkét felében 40% körül alakult, a női ivarszervek



sérülése a kalász felső részében 24%-os, míg az alsó részében csupán 7%-os csökkenést okozott (3. ábra).

1. táblázat. A kontroll és HSZ stressznek kitett 'Cappelle Desprez' és 'Plainsman V' növények fertilitása és az alkalmazott fluorezcens festékek esetében megfigyelt relatív fluorezcencia értéke (átlag $\pm$ standard eltérés)

	'Plainsman V'				'Cappelle Desprez'			
	Kontroll		Kezelt		Kontroll		Kezelt	
	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)	(1)	(2)
	Kalászfél (3)							
	Alsó	Felső	Alsó	Felső	Alsó	Felső	Alsó	Felső
	(4)	(5)	(4)	(5)	(4)	(5)	(4)	(5)
Fertilitás (%)	61,4	53,8	60,9	56,1	66,8	55,8	40,7	24,4
(6)	$\pm 6,9^{ab}$	$\pm 6,2^{bc}$	$\pm 4,3^{ab}$	$\pm 5,5^{abc}$	$\pm 3,6$	$\pm 4,2$	$\pm 0,5^d$	$\pm 2,6^c$
H <sub>2</sub> DCFDA r.f.	3,5	5,2	4,5	13,9	5,0	3,8	7,1	38,6
(7)	$\pm 2,4^c$	$\pm 3,0^c$	$\pm 3,9^c$	$\pm 8,7^b$	$\pm 2,5^{bc}$	$\pm 1,87^c$	$\pm 1,9^{bc}$	$\pm 17,9^a$
DAF FM-DA r.f.	11,9	15,5	10,9	15,6	10,4	8,2	4,6	5,4
(8)	$\pm 3,1^{ab}$	$\pm 5,7^a$	$\pm 2,4^b$	$\pm 1,1^a$	$\pm 3,3^{ab}$	$\pm 1,1^b$	$\pm 0,3^c$	$\pm 0,9^c$
C11-BODIPY r.f.	57,8	55,1	68,2	60,3	47,3	44,8	70,2	68,7
(9)	$\pm 2,8^b$	$\pm 3,0^b$	$\pm 0,2^a$	$\pm 4,6^a$	$\pm 1,3^c$	$\pm 2,5^c$	$\pm 2,6^a$	$\pm 3,7^a$

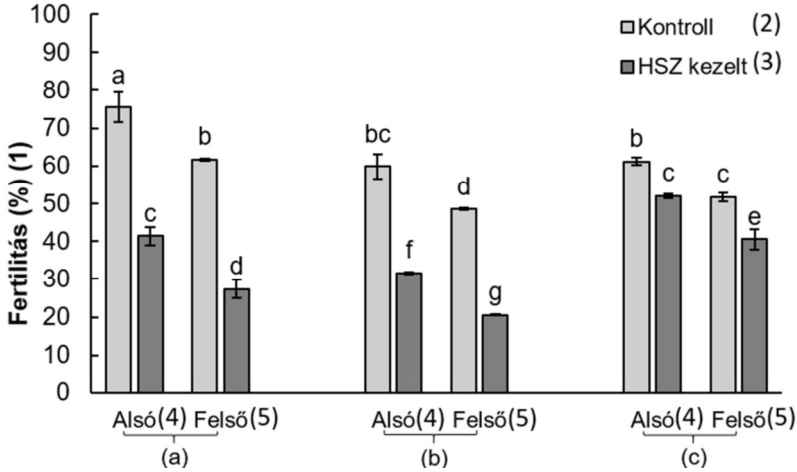
Megjegyzés: a sorokon belül az eltérő betűk az átlagértékek  $P < 0,005$  valószínűségi szintű szignifikáns eltérését jelölik, r.f. – relatív fluorezcencia.

Table 1. Fertility and relative fluorescence values of the applied fluorochromes in control and treated 'Cappelle Desprez' and 'Plainsman V' spikes. (1) Control, (2) Treated, (3) Spike moiety, (4) Base, (5) Top, (6) Fertility index (%), (7) H<sub>2</sub>DCFDA relative fluorescence, (8) DAF FM-DA relative fluorescence, (9) C11-BODIPY relative fluorescence, Note: different letters within a row show significant differences between mean values at the  $P < 0.005$  level of probability.

#### Az oxidatív stressz erősségének felmérése

A kezelés hatására termelődő reaktív oxigén fajták mennyiségének meghatározására a H<sub>2</sub>DCFDA festéket alkalmaztuk, melyet sokféle vegyület képes oxidálni, így felhasználható a sejtek általános oxidatív stressz állapotának jellemzésére. Az oxidált festék által kibocsátott fluorezcenciát a vakuólumokból detektáltuk. A kontroll papilla sejtekben alacsony szintű fluorezcencia volt megfigyelhető, mely mindkét fajtánál szignifikáns emelkedést mutatott a kezelés hatására (1. táblázat). Különösen erős jelet figyeltünk meg a 'Cappelle Desprez' felső kalászfélben, mely tízszeresen haladta meg a kontrollra jellemző értéket.

3. ábra. A virágok kalázon belüli helyzete, a kasztrálás során bekövetkező sérülések és a kontroll pollennel történő megporzás hatása a 'Cappelle Desprez' fertilitására (átlag±standard eltérés)



Megjegyzés: a: szabad elvirágzású intakt virágok; b: szabad elvirágzású felnyitott virágok; c: kontroll porral porzott felnyitott virágok. Az oszlopok feletti betűk különbözősége az átlagértékek szignifikáns eltérést jelöli a  $P < 0,005$  valószínűségi szinten. a) szabad elvirágzású, sértetlen virágú kalászok, b) a kasztrálás során fellépő sérülések szimulálása érdekében felnyitott virágú kalászok, c) az antézist megelőzően két nappal kasztrált kalászok.

Figure 3. Effect of spike moiety, ablation of bracts, and hand pollination with control pollen on the fertility of control and treated 'Cappelle Desprez' spikes. Note: different letters within a row show significant differences between mean values at the  $P < 0.005$  level of probability. (1) Fertility index of main spikes (%), (2) Control, (3) Heat and drought treated, (4) Base, (5) Top, a) spikes with free pollination, b) spikes with partially ablated bracts in order to simulate the damage sustained by the florets during emasculation, c) spikes emasculated 2 days before anthesis.

### Nitrogén-monoxid tartalom

A nitrogén-monoxid tartalom mérését DAF-FM DA fluoreszcens festék segítségével végeztük, mely vakuoláris lokalizációt mutatott. A 'Plainsman V' bibe papillasejtek NO-tartalma nem változott a kezelés hatására, míg a 'Cappelle Desprez' esetében az egész kalászra kiterjedő, jelentős mértékű visszaesést figyeltünk meg (1. táblázat).

### A lipid peroxidáció mértéke

A méréshez felhasznált C11-BODIPY<sup>TM</sup> fluoreszcens próba membrán lokalizációt mutatott. A membránokba épült festék oxidációja mindkét fajtában emelkedést mutatott a kezelés hatására, fajtánként eltérő mértékben (1. táblá-

zat). Míg a 'Plainsman V' sejtjeiben az oxidált festék részaránya a kontrollhoz képest 18%-kal emelkedett, a 'Cappelle Desprez' esetében az emelkedés értéke elérte a 48%-ot.

### Következtetés

*A bibe szöveteinek stressz hatására bekövetkező sérülése hozzájárul a termés csökkenéséhez*

A fertilitás, mint a szemszámot és a fejlődő szemtermékek tápanyag felvételének mértékét (sink strength) befolyásoló faktor, jelentős szereppel bír a termés potenciál meghatározásában (Reynolds et al. 2009). A magas hőmérséklet és a vízhiány jelentősen csökkenti a fertilitást (Prasad et al. 2011), melyet általában a hím gametofitont ért sérülések számlájára írnak (Barnabás et al. 2008). A termés adatok vizsgálata felfedte, hogy a 'Cappelle Desprez' fajta jelentősen nagyobb termésvesztéssel szenvedett el a kezelés hatására, tehát ez a fajta a magas hőmérséklettel és a vízhiánnyal szemben érzékenynek tekinthető. Megporzási kísérletünk alátámasztotta, hogy a bibe szöveteinek sérülése hozzájárul a 'Cappelle Desprez'-nél megfigyelt fertilitás csökkenéséhez, mely főként a kalászok felső részében mutatkozott meg. Ez a kalászárszövet szenvedte el a legjelentősebb szerkezeti sérülést is. A sejtmagok alakjának és sejtben elfoglalt helyzetük megváltozása arra utal, hogy a sejteket kitöltő és belső szerkezetüket fenntartó vakuólumrendszer intergritása megváltozott. A vakuólum membránjának, a tonoplastnak oxidatív stresszel szembeni érzékenysége régóta ismert (Harris és Dodge 1972). Az egyidejűleg ható magas hőmérséklet és szárazság által okozott sérülések egyik fontos forrása a nagy mennyiségben keletkező oxidatív molekulák (Zandalinas et al. 2018), ezért feltételezhető, hogy a reaktív oxigénformák jelentős szerepet játszanak az általunk megfigyelt szerkezeti változások kialakulásában.

*Az érzékeny 'Cappelle Desprez' papilla sejtjeinek ROF tartalma jobban nőtt a magas hőmérséklet és a szárazság hatására*

Fotoszintetizáló szövetekben a ROF legjelentősebb forrása a kloroplasztiszok és a peroxiszómák (Waszczak et al. 2018). Mivel a bibe papilla sejtjeiben nincsenek jelen olyan fotoszintézisrel kapcsolatos folyamatok, mint a molekuláris oxigénnek az egyes fotokémiai rendszerben történő redukciója, illetve a peroxiszómákban lezajló fotorespiráció, ezekben a sejtjeiben a ROF fő keletkezési

helyei a mitokondriumok, a glioxiszómák és a sejthártya-apoplaszt rendszer (Noctor et al. 2014, Singh et al. 2016, Waszczak et al. 2018). Az oxidatív gyökök és vegyületek mért emelkedése egyezést mutatott a fertilitás csökkenésével a 'Cappelle Desprez' főkalászok felső részében. A 'Plainsman V' kalászokban jóval kisebb mértékű volt a ROF mennyiségének emelkedése, ez nem járt együtt a szemkötés elmaradásával.

*A bibék nitrogén-monoxid tartalma és a fertilitás az érzékeny fajtában párhuzamos csökkenést mutat*

Eredményeink szerint a 'Cappelle Desprez' kezeletlen főkalászainak felső részében a nitrogén-monoxid tartalom és a fertilitás az alsó kalászfélhez viszonyítva alacsonyabb volt. Míg az érzékeny fajtában a HSZ kezelést követően a nitrogén-monoxid tartalom és a fertilitás is lecsökkent a kalászok alsó és felső részében, addig a 'Plainsman V' esetében nem figyeltünk meg ilyen jellegű szignifikáns változást. A szakirodalomban egyre növekszik azoknak a közleményeknek a száma, amelyek a nitrogén-monoxidnak a megtermékenyítésben betöltött fontos szerepéről számolnak be. Seligman et al. (2008) *Arabidopsis*-ban igazolták a bibe szöveteinek NO-termelő képességét. Ezen túl egy, NO-termelésben zavarokat mutató *Arabidopsis* mutáns esetében sikerült a rá jellemző alacsony fertilitást NO donor vegyület segítségével helyreállítani (Guo et al. 2003). Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a bibében aktívan termelt nitrogén-monoxidnak fontos szerepe van a magkötés biztosításában. Megfigyeléseink megerősítik a bibe alacsony NO-tartalma és a csökkent fertilitás között fennálló feltételezett kapcsolatot. Prado et al. (2008) igazolták a nitrogén-monoxidnak a pollentömlő növekedésére kifejtett hatását, mely a negatív kemotropizmuson alapul. Ennek alapján a 'Cappelle Desprez'-ben a HSZ kezelés hatására fellépő fertilitás csökkenéshez feltehetően hozzájárul a bibének a pollentömlő irányításában bekövetkezett zavara is.

*Az stresszérzékeny fajta bibéiben nagyobb mértékű lipid peroxidáció figyelhető meg*

Az abiotikus stressz okozta oxidatív sérülések főként az oxidáló ágensek által a lipideken és fehérjéken kifejtett módosítások miatt alakulnak ki (Anjum et al. 2015). Eredményeink szerint a HSZ kezelés hatására a 'Cappelle Desprez' bibepapilla sejteiben a lipid peroxidáció nagyobb mértékben emelkedett,

mint a 'Plainsman V' sejteiben, ami arra utal, hogy a toleráns genotípus hatékonyabb antioxidáns rendszerrel bír.

*A HSZ hatására a bibe papillákban jelentkező oxidatív stressz és a csökkent fertilitás feltehetően összefüggnek*

Korábbi vizsgálataink során megfigyeltük, hogy a 'Cappelle Desprez' és a 'Plainsman V' őszi búza fajták eltérő szárazságstressz toleranciával rendelkeznek (Fábián *et al.* 2011, Jäger *et al.* 2014). Jelen eredményeink igazolják a 'Cappelle Desprez' kombinált szárazság- és hőstresszel szembeni érzékenységet. Megfigyeléseink szerint a bibepapilla sejtek ROF- és NO-tartalma, valamint a fertilitás között szoros összefüggés áll fenn az őszi búza esetében, azonban a ROF által kiváltott sérülések és a NO-tartalom csökkenésének pontos okai egyelőre ismeretlenek. Ezeknek, és a vizsgált genotípusok között megfigyelhető különbségek genetikai hátterének feltárása további vizsgálatokat igényel.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönetet mondanak a Gondos Erika, Krárné Péntek Barbara és Fodor Szilvia technikai segítségért. A kutatásokat az NKTH-OTKA K108644, az MTA GENPROF IF-18/2012, a KEP-5/2016–2018 számú pályázatok támogatták.

### Irodalom

- Anjum, N. A.–Sofa, A.–Scopa, A.–Roychoudhury, A.–Gill, S. S.–Iqbal, M.–Lukatkin, A. S.–Pereira, E.–Duarte, A. C.–Ahmad, I.: 2015. Lipids and proteins—major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 22: 4099–4121.
- Bailing, L.–Ruilin, Y.: 1991. Structure and development of stigmatic branches and style and their relation to pollen tube growth in wheat. *Acta Bot. Sinica.* 33: 712–717.
- Barnabás, B.–Jäger, K.–Fehér, A.: 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.* 31: 11–38.
- Choudhury, F. K.–Rivero, R. M.–Blumwald, E.–Mittler, R.: 2017. Reactive oxygen species, abiotic stress and stress combination. *The Plant Journal.* 90: 856–867.
- Demidchik, V.: 2015. Mechanisms of oxidative stress in plants: From classical chemistry to cell biology. *Environ. Exp. Bot.* 109: 212–228.

- Domingos, P.–Prado, A. M.–Wong, A.–Gehring, C.–Feijo, J. A.: 2015. Nitric oxide: a multitasked signaling gas in plants. *Molecular Plant*. 8: 506–520.
- Fábián, A.–Jäger, K.–Rakszegi, M.–Barnabás, B.: 2011. Embryo and endosperm development in wheat (*Triticum aestivum* L.) kernels subjected to drought stress. *Plant Cell Rep.* 30: 551–563.
- FAOSTAT: 2016. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. letöltés időpontja: 2018. május 23.
- Giorno, F.–Wolters-Arts, M.–Mariani, C.–Rieu, I.: 2013. Ensuring reproduction at high temperatures: The heat stress response during anther and pollen development. *Plants*. 2: 489–506.
- Guo, F. Q.–Okamoto, M.–Crawford, N. M.: 2003. Identification of a plant nitric oxide synthase gene involved in hormonal signaling. *Science*. 302: 100–103.
- Harris, N.–Dodge, A. D.: 1972. The effect of paraquat on flax cotyledon leaves: Changes in fine structure. *Planta*. 104: 201–209.
- Hasanuzzaman, M.–Hossain, M. A.–da Silva, J. A. T.–Fujita, M.: 2012. Plant response and tolerance to abiotic oxidative stress: antioxidant defense is a key factor in crop stress and its management: Perspectives and strategies. Springer. Dordrecht. 261–315.
- Hedhly, A.: 2011. Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environ. Exp. Bot.* 74: 9–16.
- Heslop-Harrison, J.: 1979. Pollen-stigma interaction in grasses: a brief review. *New Zealand J. Bot.* 17: 537–546.
- Heslop-Harrison, J.: 1992. The angiosperm stigma. In *Sexual Plant Reproduction*. Springer. Berlin–Heidelberg. 59–68.
- Heslop-Harrison, J.–Heslop-Harrison, Y.: 1980. The pollen-stigma interaction in the grasses I. Fine-structure and cytochemistry of the stigmas of *Hordeum* and *Secale*. *Plant Biol.* 29: 261–276.
- Jäger, K.–Fábián, A.–Eitel, G.–Szabó, L.–Deák, C.–Barnabás, B.–Papp, I.: 2014. A morpho-physiological approach differentiates bread wheat cultivars of contrasting tolerance under cyclic water stress. *J. Plant Physiol.* 171: 1256–1266.
- Jäger, K.–Fábián, A.–Barnabás, B.: 2008. Effect of water deficit and elevated temperature on pollen development of drought sensitive and tolerant winter wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Acta Biol. Szeged.* 52: 67–71.
- Lalonde, S.–Beebe, D. U.–Saini, H. S.: 1997. Early signs of disruption of wheat anther development associated with the induction of male sterility by meiotic-stage water deficit. *Sex Plant Reprod.* 10: 40–48.
- Lamaoui, M.–Jemo, M.–Datla, R.–Bekkaoui, F.: 2018. Heat and drought stresses in crops and approaches for their mitigation. *Front Chem.* 6: 26.
- Lesk, C.–Rowhani, P.–Ramankutty, N.: 2016. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*. 529: 84–87.
- Molassiotis, A.–Fotopoulos, V.: 2011. Oxidative and nitrosative signaling in plants. *Plant Signal Behav.* 6: 210–214.

- Noctor, G.–Mhamdi, A.–Foyer, C. H.: 2014. The roles of reactive oxygen metabolism in drought: Not so cut and dried. *Plant Physiol.* 164: 1636–1648.
- Okada, T.–Jayasinghe, J. E. A. R. M.–Nansamba, M.–Baes, M.–Warner, P.–Kouidri, A.–Correia, D.–Nguyen, V.–Whitford, R.–Baumann, U.: 2018. Unfertilized ovary pushes wheat flower open for cross-pollination. *J. Exp. Bot.* 69: 399–412.
- Percival, J.: 1921. *The wheat plant: a monograph.* Duckworth and Co. London.
- Prado, A. M.–Colaço, R.–Moreno, N.–Silva, A. C.–Feijó, J. A.: 2008. Targeting of pollen tubes to ovules is dependent on nitric oxide (NO) signaling. *Molecular Plant.* 1: 703–714.
- Prasad, P. V. V.–Djanaguiraman, M.: 2014. Response of floret fertility and individual grain weight of wheat to high temperature stress: sensitive stages and thresholds for temperature and duration. *Functional Plant Biol.* 41: 1261–1269.
- Prasad, P. V. V.–Pisipati, S. R.–Momčilović, I.–Ristic, Z.: 2011. Independent and combined effects of high temperature and drought stress during grain filling on plant yield and chloroplast EF-Tu expression in spring wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 197: 430–441.
- Ray, D. K.–Mueller, N. D.–West, P. C.–Foley, J. A.: 2013. Yield trends are insufficient to double global crop production by 2050. *PLOS ONE* 8:e66428.
- Reynolds, M.–Foulkes, M. J.–Slafer, G. A.–Berry, P.–Parry, M. A. J.–Snape, J. W.–Angus, W. J.: 2009. Raising yield potential in wheat. *J. Exp. Bot.* 60: 1899–1918.
- del Río, L. A.: 2015. ROS and RNS in plant physiology: an overview. *J. Exp. Bot.* 66: 2827–2837.
- Saini, H. S.–Aspinall, D.: 1982. Abnormal sporogenesis in wheat (*Triticum aestivum* L.) induced by short periods of high temperature. *Ann. Bot.* 49: 835–846.
- Saini, H.–Sedgley, M.–Aspinall, D.: 1983. Effect of heat stress during floral development on pollen tube growth and ovary anatomy in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Functional Plant Biol.* 10: 137–144.
- Saini, H.–Sedgley, M.–Aspinall, D.: 1984. Development anatomy in wheat of male sterility induced by heat stress, water deficit or abscisic acid. *Functional Plant Biol.* 11: 243–253.
- Seligman, K.–Saviani, E. E.–Oliveira, H. C.–Pinto-Maglio, C. F.–Salgado, I.: 2008. Floral transition and nitric oxide emission during flower development in *Arabidopsis thaliana* is affected in nitrate reductase-deficient plants. *Plant Cell Physiol.* 49: 1112–1121.
- Serrano, I.–Pelliccione, S.–Olmedilla, A.: 2010. Programmed-cell-death hallmarks in incompatible pollen and papillar stigma cells of *Olea europaea* L. under free pollination. *Plant Cell Rep.* 29: 561–572.
- Shewry, P. R.: 2009. Wheat. *J. Exp. Bot.* 60: 1537–1553.
- Singh, R.–Singh, S.–Parihar, P.–Mishra, R. K.–Tripathi, D. K.–Singh, V. P.–Chauhan, D. K.–Prasad, S. M.: 2016. Reactive oxygen species (ROS): Beneficial companions of plants' developmental processes. *Front Plant Sci.* 7: 1299.

- Tischner, T.-Koszegi, B.-Veisz, O.:* 1997. Climatic programs used in the Martonvasar phytotron most frequently in recent years. *Acta Agron. Hung.* 45: 85-104.
- Vandelle, E.-Delledonne, M.:* 2011. Peroxynitrite formation and function in plants. *Plant Sci.* 181: 534-539.
- Waines, J. G.-Hegde, S. G.:* 2003. Intraspecific gene flow in bread wheat as affected by reproductive biology and pollination ecology of wheat flowers. *Crop Sci.* 43: 451-463.
- Waszczak, C.-Carmody, M.-Kangasjärvi, J.:* 2018. Reactive oxygen species in plant signaling. *Annu. Rev. Plant Biol.* 69. 5: 1-5., 28.
- Zafra, A.-Rejón, J. D.-Hiscock, S. J.-Alché, J. de D.:* 2016. Patterns of ROS accumulation in the stigmas of angiosperms and visions into their multi-functionality in plant reproduction. *Front Plant Sci.* 7: 1112.
- Zandalinas, S. I.-Mittler, R.-Balfagón, D.-Arbona, V.-Gómez-Cadenas, A.:* 2018. Plant adaptations to the combination of drought and high temperatures. *Physiol. Plant.* 162: 2-12.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

\*Dr. Fábrián Attila - Sáfrán Eszter - Szabó-Eitel Gabriella -  
Dr. Barnabás Beáta - Dr. Jäger Katalin  
MTA Agrártudományi Kutatóközpont  
Mezőgazdasági Intézet  
Martonvásár  
Brunszvik u. 2.  
H-2462  
\*fabian.attila@agrar.mta.hu



## **Fungicid készítmények hatásának vizsgálata a kukorica szuperoxid-dizmutáz aktivitására és a lipidperoxidációra fóliasátras és szántóföldi kísérletben**

<sup>1</sup>ILLÉS ÁRPÁD – <sup>2</sup>NAGY ANTAL – <sup>1</sup>TÓTH BRIGITTA

Debreceni Egyetem

<sup>1</sup>Táplálkozástudományi Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>MÉK Növényvédelmi Intézet, Debrecen

### **Összefoglalás**

Kísérletünkben egy azoxistrobin, valamint egy azoxistrobin és propikonazol hatóanyag-tartalmú fungicid hatását vizsgáltuk a kukorica klorofilltartalmára és enzimaktivitására. A kísérleteket fóliasátorban (KITE Zrt.) és szántóföldi (Látóképi Kísérleti Telep) körülmények között állítottuk be. A kísérletekben a fungicideket az engedélyokiratban meghatározott átlagos dózissal alkalmaztuk.

Kutatási célunk volt annak bizonyítása, hogy a növény természetes detoxifikáló folyamatai a permetezést követő rövid idő (egy és két hét) elteltével a használt fungicid hatására változnak, ami az enzimaktivitás változással bizonyítható.

A kísérlet során a relatív klorofilltartalmat (SPAD-egység), a II. fotokémiai rendszer hatékonyságát, a szuperoxid-dizmutáz aktivitását (SOD) és a lipidperoxidációt (LP) mértük, egy és két héttel a kezelés után. A két termesztési környezet között a vizsgált mutatók terén eltérést tapasztaltunk.

A kezelések hatására a termesztési környezettől függetlenül szignifikáns eltérést mértünk a relatív klorofilltartalomban. A fungicid hatására 25%-kal csökkent a relatív klorofilltartalom a fóliasátorban. A szuperoxid-dizmutáz aktivitása és a lipidperoxidáció mértéke ellentétesen változott. Fóliasátorban a fungicid kezelés jelentős növekedést eredményezett a kontrollhoz viszonyítva, mely során a kezelést követően egy hét alatt 10%-kal, míg két hét elteltével több, mint 40%-kal emelkedett a SOD aktivitás. A szántóföldi kísérletben ezzel szemben nem volt statisztikailag kimutatható változás. A fungi-

cid kezelésnek nem volt szignifikáns hatása a vizsgált növények fotoszintetikus aktivitására. A fungicidek kedvezőtlenül befolyásolták a növények relatív klorofilltartalmát és a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét, mely későbbiekben negatívan hathat a szervesanyag-felhalmozásra, ezen keresztül pedig a biomassza képződésére.

**Kulcsszavak:** fungicid, kukorica, lipidperoxidáció, relatív klorofilltartalom, szuperoxid-dizmutáz

## **Examination of the effect of fungicides on the activity of superoxid-dismutase and rate of lipid peroxidation in maize in a polytunnel and a field experiment**

<sup>1</sup>Á. ILLÉS – <sup>2</sup>A. NAGY – <sup>1</sup>B. TÓTH

University of Debrecen

<sup>1</sup>Institute of Nutrition, Debrecen

<sup>2</sup>Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management,  
Institute of Plant Protection, Debrecen

### **Summary**

In our research, two fungicides were examined: one of them contained azoxystrobin while the other contained azoxystrobin and propiconazole. The trials were set up in a polytunnel (KITE Zrt.) and under field conditions (Látókép experimental site). We used the average dose of fungicides defined in the approval document.

The general aim of our research was to prove that the natural detoxification mechanism of the examined plants changed following the fungicide treatment, which can be proved by the change in the enzyme activity.

During the test, the following parameters were determined: the relative chlorophyll content (SPAD value), photosynthetic activation and changes in SOD (superoxide dismutase) activity in the reactive oxygen types and lipid peroxidation measurement based on the malondialdehyde quantity.

The treatment resulted in significant difference in the relative chlorophyll content under both growing conditions. The fungicide application decreased the relative chlorophyll content with 25% in the polytunnel. The examined enzymes activations

changed in two contrasting ways. The treatment caused significant increase in SOD activity in the polytunnel. The SOD activity increased with 10% at the first sampling date and more than 40% at the second date, but no significant effect was detected in the case of field treatments.

Fungicide treatment did not have any significant effect on the photosynthetic activity of the observed plants. Otherwise, fungicides had unfavorable effects on the relative chlorophyll content and the quantity of photosynthetic pigments that later may lead to decreased accumulation of organic material and biomass production.

**Key words:** fungicide, lipid peroxidation, maize, relative chlorophyll content, superoxide dismutase

## **Исследование влияния фунгицидных препаратов на активность супероксиддисмутазы кукурузы и на перекисное окисление липидов в тепличном и полевом опыте**

<sup>1</sup>А. ИЛЛЕШ – <sup>2</sup>А. НАДЬ – <sup>1</sup>Б. ТОТ

Дебреценский Университет

<sup>1</sup>Институт Науки о Питании, Дебрецен

<sup>2</sup>Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и Экологического Менеджмента (МÉК), Институт Защиты Растений, Дебрецен

### **Резюме**

В нашем опыте исследовали влияние азоксистробина, а также содержащего действующие вещества азоксистробин и пропиконазол фунгицида на содержание хлорофилла кукурузы и на активность энзимов. Опыты проводили в плёночной теплице (ЗАО «КИТЕ») и в полевых условиях (Опытная база в Латокепи). В опытах использовали фунгициды в установленных в разрешительных документах средних дозах.

Целью нашего исследования было подтвердить, что естественные процессы детоксификации растения после опрыскивания в течении короткого времени (одна и две недели) изменяются под влиянием использованных фунгицидов, что можно доказать изменением активности энзимов.

В ходе опыта измеряли относительное содержание хлорофилла (SPAD-единица), эффективность II-ой фотохимической системы, активность супероксид-дизмутазы (SOD) и липидную перекисидацию (LP), через одну и через две недели после обработки. Обнаружили расхождения в области исследуемых показателей среди этих двух мест выращивания.

Под влиянием обработок независимо от обстановки выращивания значительное различие измерили в относительном содержании хлорофилла. Под влиянием фунгицида на 25%-ов уменьшилось относительное содержание хлорофилла в теплице. Активность супероксид-дизмутазы и размер липидной перекисидации по-разному изменились. В теплице фунгицидная обработка привела к значительному росту по сравнению с контролем, в ходе которой через неделю после обработки на 10%, а через две недели более, чем на 40%-ов повысилась активность SOD. В полевом опыте в отличие от этого не было статистически подтверждаемого изменения. Фунгицидные обработки не имели значительного влияния на фотосинтетическую активность исследованных растений. Фунгициды непосредственно повлияли на относительное содержание хлорофилла растений и количество фотосинтетических пигментов, которые позже могли негативно повлиять на накопление органического вещества, и этим на формирование биомассы.

**Ключевые слова:** фунгицид, кукуруза, перекисное окисление липидов, относительное содержание хлорофилла, супероксид-дизмутаза

## Bevezetés

Napjainkban a növénytermesztés intenzifikálása elengedhetetlen a növekvő népesség élelmezésének biztosítása érdekében. Egyre kisebb rendelkezésre álló területen kell megtermelnünk a megnövekedett népesség táplálékszükségletéhez szükséges élelmiszert (*Pimentel és Pimentel* 2006). A növénytermesztés során az integrált növényvédelem (IPM – Integrated Pest Management) szabályainak betartása mellett komoly hangsúlyt kap a peszticidek alkalmazása. A kémikáliák széles körű alkalmazása súlyos környezeti és humán egészségügyi gondokkal is párosul (*Pepó* 2014). A fejlődő világ egyes részein a peszticid mérgezés több halált okoz, mint a fertőző betegségek (*Jeyaratnam* 1990).

A peszticidek széles körben használtak a növények védelmére. A modern, intenzív növénytermesztési rendszerekben a gombaölő szerek (fungicidek)

használata nélkülözhetetlen (*Guillino et al.* 2010). Annak ellenére, hogy alkalmazásuk szigorú ellenőrzéshez kötött, még mindig komoly kockázatot jelent, hogy ezek a vegyületek a környezetben a felhasználási helytől messzebbre kerülhetnek és szétterjedhetnek, vízzel, talajjal és az élelmiszerekkel is kapcsolatba kerülhetnek.

Statisztikai adatok szerint az Európai Unióban 1993 és 2003 között a peszticidek éves felhasználása, a termőterület csökkenése ellenére, növekedett (*Jablonska* 2017). Magyarországon 2017-ben az engedélykivarral rendelkező, a kukorica növényvédelmében alkalmazható peszticidek száma 202 volt. Ezekből mindössze hét fungicid, melyek összesen nyolc féle hatóanyagot tartalmaznak (*KSH* 2016). Ezek a következők: Azoxistrobin, Ciprokonazol, Tebukanozol, Fluopiram, Protiokonazol, Propikonazol, Piraklostrobin és Epoxikanozol. A felsorolt fungicidek szisztémikusak, a hatóanyagok az epidermiszen keresztül felszívódnak, ezért többnyire kuratív hatásúak (*Chen et al.* 2014).

A gombaölő szerek pozitív és negatív változást eredményeznek a növényfiziológiai folyamatokban, megvédik a növényeket a betegségektől, de oxidatív stresszt is kifejthetnek. A karbendazim gombaölőszer használata görögszénában (*Trigonella foenum-graecum*) alacsony koncentrációban javította a növény természetes védekezőképességét, viszont magas koncentráció hatására oxidatív stresszt idézett elő (*Sangeetha* 2010).

A növények számos aktív és passzív védelmi mechanizmuson keresztül reagálnak a kórokozó-támadásra, elsősorban a fenol vegyületek metabolizmusával. A defenzív reakciók aktiválása nagyszámú gén fokozott expressziójához kapcsolódik, amely a fenol vegyületek bioszintetikus útvonalán részt vevő enzimeket kódolja. A reaktív oxigénformák (ROS) számos növényi szervben fellelhetőek. A metabolikus reakcióban, mint például a fotoszintézis, légzés, valamint abiotikus és biotikus stressz során keletkeznek (*Jablonska* 2017).

A fungicidek hatással vannak a sztómák nyitottságára, befolyásolhatják a kloroplasztisz szerkezetét és működését. Egyes hatóanyagok hatással vannak a fotoszintetikus elektrontranszportra és a PSI és PSII aktivitására is (*Petit et al.* 2012).

*Mohamadi és Rajaei* (2013) kutatásukban a paradicsom (*Lycopersicon esculentum* Mill.) abiotikus stresszre adott válaszreakcióját vizsgálták. A fungicid kezelés hatására csökkent a klorofilltartalom, a szuperoxid-dizmutáz és a kataláz aktivitása a kontrollhoz viszonyítottan. *Singh és Kaur* (2016) a tarlórépát (*Brassica campestris* L.) kezelték karbendazim gombaölő hatóanyaggal 0,02 és 0,04%-os koncentrációban, amely 78 és 68%-kal változtatta meg a SOD aktivitást.

A fungicid dózisok az expozíció függvényében hatással vannak a citotoxicitásra és a lipid-peroxidációra (Suzuki et al. 2004). Zhang et al. (2010) őszi búzával (*Triticum aestivum* L.) végzett kísérletükben azt tapasztalták, hogy fungicid kezelés hatására növekedett a detoxifikáló enzimek, a szuperoxid-dizmutáz (SOD), a kataláz (CAT) és a peroxidáz (POD) aktivitása, melyhez emelkedett  $H_2O_2$  szint párosult.

Kutatási célunk annak bizonyítása volt, hogy a fungicidok hatással vannak a kultúrnövény – jelen esetben a kukorica – enzimaktivitására és klorofilltartalmára. Feltételezésünk szerint a fungicid kezelés után rövid idővel (egy és két hét) csökken a növény természetes védekezőképessége, amely a vizsgált enzimek fokozott aktivitásban mutatkozik meg.

### Anyag és módszer

Kísérleti növényként kukoricát (*Zea mays* L. cv. NK Columbia és Dessert r78) használtunk. A kísérletet fóliasátorban a KITE Zrt. derecskei kertészeti telepén, valamint szántóföldön a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén állítottuk be.

A fóliasátorban végzett kísérlethez a magokat 6%-os  $H_2O_2$ -dal fertőtlenítettük, majd nedves szűrőpapír között csíráztattuk. A kukorica magokat csernozjom talaj és tőzeg 1:1 arányú keverékébe vetettük.

A növényeket ötleveles korig neveltük, majd mintát vettünk a negyedik levélből.

A fóliasátorban történt vizsgálat során 50 kontroll és 50 kezelt növényt vizsgáltunk, melyből randomizáltan, a kezelést követő első és második héten történt a mintavétel. A szántóföldi kísérletben 60 kontroll és 60 kezelt növény vizsgáltunk. A mintavétel a fóliasátorban való mintavétellel megegyezik.

Fóliasátras kísérletben egy, míg a szántóföldi kísérletben két fungicid hatását vizsgáltuk. A két fungicid jelölésére a Fungicid készítmény 1 és Fungicid készítmény 2 elnevezést használjuk. A kezelés mindkét helyszínen permetezéssel történt.

A Fungicid készítmény 1: 200 g/l azoxistrobin, 80 g/l ciprokonazol hatóanyag tartalommal rendelkezik, melyek a strubilurin, triazol hatóanyagcsoportba tartoznak. Az engedélyokiratban meghatározott dózis alsó és felső korlátja közötti középértéket használtuk (0,75 l/ha). A Fungicid készítmény 2: 141,4 g/l azoxistrobin, 122,4 g/l propikonazol hatóanyag-tartalommal rendel-

kezik, melyek szintén a strobilurin és triazol hatóanyagcsoportba tartoznak. Az engedélyokiratban meghatározott dózist használtuk (1,0 l/ha). A kezelések idején a légköri hőmérséklet 25 °C alatti volt. A fóliasátorban nevelt növényeket szellőztetés után megfelelő hőmérséklet beállítását követően kezeltük, majd a permetlé beszáradását követő két órán belül helyeztük vissza a fóliasátorba. Szántóföldi vizsgálatok során a reggeli harmat felszáradását követően 25 °C foknál alacsonyabb hőmérsékleten kezeltük a növényeket.

A fotoszintézis fényszakasz hatékonyságának a meghatározásához, közvetett módszerként a klorofill fluoreszcencia indukciós módszert alkalmaztuk (Scheiber *et al.* 1996). A II-es fotokémiai rendszer hatékonyságát PAM-2001 típusú fluorométerrel (WALZ GmbH, Németország) mértük 10 órákor, kezelésenként hat növényen. A szuperoxid-dizmutáz (SOD) enzim aktivitását a nitroblue tetrazolium (NBT) fotokémiai redukciójának gátlását mérve határoztuk meg (Giannopolittes és Ries 1977, Beyer és Fridovich 1987). Egy egység SOD mennyiségét az 560 nm hullámhosszon mért NBT redukciójának 50%-os csökkenéséhez szükséges enzim mennyiségeként definiáltuk. A SOD aktivitását kezelésenként hat növényen mértük.

A lipidperoxidáció mértékét a keletkezett malon-dialdehid mennyisége alapján határoztuk meg Heath és Packer (1968) módszerével. A lipidperoxidációt kezelésenként 6 növényen mértük. A relatív klorofill méréshez a növények harmadik, illetve negyedik levelét használtuk. A relatív klorofilltartalmat SPAD-502 (MINOLTA, Japán) relatív klorofill mérővel mértük (Uddling *et al.* 2007). A relatív klorofilltartalmat kezelésenként 15 növényen mértük, növényenként öt ismétlésben. A táblázatokban az eredményeket SPAD-egységben szerepeltetjük. Fóliasátras kísérletben mértük a relatív klorofilltartalmat, a II-es fotokémiai rendszer hatékonyságát, a SOD aktivitását és az LP mértékét. Szántóföldi kísérletben a relatív klorofilltartalom, a SOD aktivitása és az LP mértéke került mérésre. A szántóföldi kísérletben mért paraméterek ismétlésszámjai megegyeznek a fóliasátras kísérletnél leírtakkal.

A kezelések mért változókra gyakorolt hatását a kezelt-kezeletlen csoportokon mért értékek átlagainak összevetésével értékeltük, külön-külön a fóliasátras és szabadföldi kísérletben, illetve a kezelést követő két időpontban. A parametrikus tesztek feltételeinek (varianciák homogenitása és normál eloszlás) vizsgálatára Leve tesztet és Q-Q plot-okat használtunk. A feltételeket csak a fóliasátras kísérletben mért SPAD értékek, teljesítették, így azokat parametrikus t-teszttel hasonlítottuk össze, míg a többi változó esetén, illetve a szabadföldi

teszt adatainál nem parametrikus Mann-Whitney U-tesztet alkalmaztunk. A számításokat SPSS 21.0 programcsomaggal végeztük (Huzsvai 2004, Kecskeméti et al. 2011).

## Eredmények

A vizsgált növényfiziológia mutatókban eltérést tapasztaltunk a két termesztési környezet és a mintavételi időpontok között.

A fóliasátorban végzett kísérlet során egy azoxistrobin és propikonazol hatóanyag-tartalmú gombaölőszert vizsgáltunk, melyet Fungicid készítmény I néven jelölünk. A gombaölőszerek kultúrnövényre kifejtett hatásáról keveset tudunk. Feltételezzük, hogy a vizsgált fungicidek a patogének membránjának károsításával, vagy a mitokondriális elektrontranszport gátlásával fejtik ki hatásukat (Querns et al. 1998). Koehle et al. (2002) strobilurin hatóanyag tartalmú fungicid pozitív hatását figyelték meg a dohány növekedésére, anyagcseréjére és termés hozamára, gombafertőzés nélküli kísérletben. Kísérletünkben szintén gombafertőzés nélkül alkalmazott fungicid kezelést vizsgáltunk.

A fóliasátorban végzett kísérletben a fungicid kezelés szignifikáns eltérést eredményezett a kukorica relatív klorofilltartalmában a kontrollhoz viszonyítva. Az első mintavétel egy héttel a kezelés után, a kukorica 4–6 leveles fejlettségi állapotában, majd a második mintavétel a kezelést követő második héten történt.

A fóliasátorban történő kísérlet során egy héttel a kezelés után a kezelt állomány klorofilltartalma szignifikánsan nagyobb volt, mint a kontroll állományé (1. táblázat). A kezelést követő második hétre a különbség megfordul és a kezelt növények SPAD értékének jelentős csökkenése miatt itt már a kezelt állományban alacsonyabb a klorofillszint, mint a kontrollban. A két mintavétel közt, a relatív klorofilltartalom a fungicid kezelés hatására 9 SPAD egységgel csökkent, míg a kontrollnál ez a csökkenés csak szűk 2 SPAD egység volt.

A relatív klorofilltartalom mérése során az alkalmazott fungicid szignifikánsan befolyásolta a SPAD-értéket szántóföldi körülmények között (2. táblázat). A szántóföldi kísérlet során a relatív klorofilltartalom alakulása eltérő eredményt mutatott. A kezelést követő első héten mind a két alkalmazott fungicid esetén jelentősen alacsonyabb relatív klorofilltartalmat mértünk, mint a kontroll növényekben. A különbség megközelítőleg 10 SPAD egység, ami 25%-os eltérést jelent. Szintén ekkora, azaz 25%-os csökkenés volt megfigyelhető a



relatív klorofilltartalomban a második mintavételnél. Ezzel szemben *Kaneko* és *Ishii* (2009) strobilurin hatóanyag hatására, a nettó fotoszintézis emelkedését figyelték meg búzánál.

1. táblázat. *A fungicid kezelés hatása a kukorica klorofilltartalmára fóliasátorban végzett kísérlet során (SPAD-egység) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a permetezés után (ismétlésszám = 75 ±S.D.)*

Kezelés (1)	1. mintavétel (2)	2. mintavétel (3)
Kontroll (4)	22,23±3,74	20,71±3,91
Fungicid készítmény 1 (5)	28,17±4,21*	17,73±4,39*

Megjegyzés: \*a kontrollhoz viszonyított szignifikáns különbség t-teszt alapján ( $p < 0,05$ ).

*Table 1.* Effect of fungicides on the relative chlorophyll content (SPAD unit) in maize one week and two weeks after fungicides treatment in a polytunnel. (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, Note: \*significant difference compared to the control based on t-test (\* $p < 0.05$ ).

2. táblázat. *A fungicidek hatása a kukorica relatív klorofilltartalmára szántóföldi kísérletben (SPAD-egység) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a kezelés után (ismétlésszám = 75 ±S.D.)*

Kezelés (1)	1.mintavétel (2)	2.mintavétel (3)
Kontroll (4)	38,95±3,20	43,19±3,45
Fungicid készítmény 1 (5)	29,52±2,95*	33,02±3,94*
Fungicid készítmény 2 (6)	29,87±3,79*	33,54±5,68*

Megjegyzés: \*a kontrollhoz viszonyított szignifikáns különbség t-teszt alapján ( $p < 0,05$ ).

*Table 2.* Effect of fungicides on the relative chlorophyll content (SPAD unit) in *Zea mays* L., after one and two weeks of treatment in field experiment. (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, (6) Fungicide 2, Note: \*significant difference compared to the control based on t-test (\* $p < 0.05$ ).

Kísérletünkben mértük a kukorica II. fotokémiai rendszerének hatékonyságát a fólia sátorban nevelt növényeknél (3. táblázat). A II-es fotokémia rendszer hatékonyságának vizsgálata során az első mintavételi időpontban az alap fluoreszcencia ( $F_0$ ) szintje a kezelt növényekben valamivel alacsonyabb volt, ezzel ellentétben a maximális fluoreszcencia ( $F_m$ ) szintje kis mértékben na-

gyobb volt a fungiciddel kezelt növényekben, mint a kontrollban. A változó fluoreszcencia ( $F_v$ ) és a maximális fluoreszcencia ( $F_m$ ) hányadosaként meghatározott fotokémiai hatékonyság jellemzésére használt hányados az  $F_v/F_m$ , fungicid kezelés hatására nem volt szignifikánsan magasabb a kontrollhoz viszonyítva, egy héttel a fungicid kezelés után.

3. táblázat. A fungicid kezelés hatása a kukorica fotoszintetikus aktivitására fóliasátorban végzett kísérlet során, egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a kezelés után (ismétlésszám = 6)

Kezelés (1)	$F_0$	$F_m$	$F_v/F_m$
	1. mintavétel (2)		
Kontroll (4)	0,304±0,024	1,307±0,071	0,772±0,006
Fungicid készítmény 1 (5)	0,283±0,019	1,349±0,091	0,790±0,009
	2. mintavétel (3)		
Kontroll (4)	0,294±0,021	1,342±0,149	0,775±0,011
Fungicid készítmény 1 (5)	0,264±0,028	1,137±0,223	0,776±0,010

Megjegyzés:  $F_0$ : alap fluoreszcencia,  $F_m$ : maximális fluoreszcencia,  $F_v$ : változó fluoreszcencia.

Table 3. Effect of fungicide on the photosynthetic activity in a polytunnel. (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, Note:  $F_0$ : minimum fluorescence,  $F_m$ : maximum fluorescence,  $F_v$ : variable fluorescence.

A második mintavétel során az alap fluoreszcencia ( $F_0$ ) és a maximális fluoreszcencia ( $F_m$ ) kis mértékben csökkent, a kezelt növényekben továbbra is alacsonyabb volt, mint a kontrollban. A fotokémiai hatékonysági mutató ( $F_v/F_m$ ) értéke a kontrollban két hét után csaknem azonos volt az egy hét után mért értékkel, míg a kezelt növényekben a két vizsgálati időpont közt enyhe csökkenést mutatott (3. táblázat). Dias et al. (2014) saláta (*Lactuca sativa* L.) levél vizsgálata során mankoceb gombaölőszert kezelés hatására a levél II-es fotokémiai rendszerében mért fotoszintetikus aktivitása romlott, illetve a levélben mért klorofill pigmentek mennyisége is csökkent.

Feltételezésünk szerint fungiciddel történő kezelés után növekszik a növény természetes védekezési reakciója, mely során megnövekszik a reaktív oxigénformák mennyisége. Ennek bizonyítására mértük a szuperoxid-dizmutáz aktivitását és a lipid-peroxidáz mértékét.

A fóliasátras kísérletben a SOD aktivitása mind a két mintavételi időpontban szignifikánsan nagyobb volt a fungiciddel kezelt növényekben. Egy héttel

a fungicid kezelés után a különbség 12,5% volt, ami két héttel a kezelést követően 48%-ra nőtt (4. táblázat). A szuperoxid-dizmutáz aktivitásának emelkedését több kutató is megfigyelte fungicidek hatására. *Liang et al.* (2017) gyömbérben, míg *Zhang et al.* (2010) a búza zászlós levelében mért emelkedett SOD aktivitást. *Bensoltane et al.* (2006) durum búzában eltérő hatóanyag tartalmú szisztémikus fungicidek vizsgálatokor szintén emelkedett SOD aktivitást tapasztalt.

4. táblázat. A szuperoxid-dizmutáz (SOD aktivitás ( $U\ g^{-1}\ FW \pm S.D.$ , ismétlésszám = 6) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a fungicid kezelés után fóliasátorban (FW: friss tömeg)

Kezelés (1)	1. mintavétel (2)	2. mintavétel (3)
Kontroll (4)	0,14±0,01	0,13±0,02
Fungicid készítmény 1 (5)	0,16±0,01*	0,25±0,06*

Megjegyzés: \*a kontrollhoz viszonyított szignifikáns különbség Mann-Whitney U-teszt alapján ( $p < 0,05$ ).

Table 4. Effect of fungicide on the SOD activity ( $U\ g^{-1}\ FW$ ) one and two week after treatment in a polytunnel (FW: fresh weight). (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, Note: \*significant difference compared to the control based on Mann-Whitney U-test ( $p < 0.05$ ).

A szántóföldi vizsgálatok során a reaktív oxigénformák mennyisége általában alacsonyabb értékeket mutatott, mint a fóliasátorban történő vizsgálat során és a fóliasátorban megfigyelt trendek sem érvényesültek. Egy héttel a kezelés után nem volt különbség a szuperoxid-dizmutáz aktivitásában egyik alkalmazott fungicid hatására sem. Két héttel a kezelést követően az alkalmazott fungicidek eltérő hatást gyakoroltak a kultúrnövény SOD aktivitására. A Fungicid készítmény 1 kezelésnél, kis mértékben nőtt a SOD aktivitása, ezzel szemben a Fungicid készítmény 2-vel való kezelés hatására kismértékű csökkenés volt megfigyelhető (5. táblázat).

A lipidperoxidáció során a lipid molekula szabadgyök állapotba kerül, ezáltal képes reakcióba lépni az oxigénnel és a reakció során peroxi-szabadgyök keletkezik. A malondialdehid (MDA) a lipidek oxidatív bontásának egyik végterméke, ami felelős a sejtmembrán károsításáért, beleértve a membrán tulajdonságok megváltozását, mint például az ionszállítás, az enzimaktivitás csökke-

nése és a fehérje térhálósodása, mely változások végül a sejtek pusztulásához vezetnek (Shamra et al. 2012).

5. táblázat. A szuperoxid-dizmutáz (SOD) aktivitás ( $U\ g^{-1}\ FW \pm S.D.$ , ismétlésszám = 6) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a fungicid kezelés után szántóföldi (Látókép) vizsgálatban (FW: friss tömeg)

Kezelés (1)	1. mintavétel (2)	2. mintavétel (3)
Kontroll (4)	0,10±0,02	0,08±0,03
Fungicid készítmény 1 (5)	0,10±0,01	0,10±0,01
Fungicid készítmény 2 (6)	0,10±0,00	0,06±0,00

Table 5. Effects of fungicides on the superoxide dismutase (SOD) activity ( $U\ g^{-1}\ FW$ ), one week after treatment and two weeks after treatment in the field study (Látókép Experiment Site) (FW: fresh weight). (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, (6) Fungicide 2

A peszticidek stimuláló hatását az enzimaktivásra, azon belül a lipidperoxidációra többen dokumentálták (Jablonska 2017). Ha a növényi sejtben a reaktív oxigénformák szintje meghaladja a növény méregtelenítési kapacitását, akkor a lipidperoxidáció növekszik a biológiai membránokban, ami befolyásolja a sejt fiziológiai folyamatait (El-Beltagi és Mohamed 2013).

Fóliasátorban végzett kísérletünkben az alkalmazott fungicid hatására a malondialdehid mennyisége nem szignifikáns mértékben változott. A keletkezett malondialdehid mennyisége megközelítőleg 5 nmol-lal volt nagyobb a kezelt növényekben az első mintavételi időpontban, míg a második mintavételi időpontban a malondialdehid mennyisége a kezelt és kezeletlen növényekben csaknem azonos volt (6. táblázat).

A szántóföldi kísérletben eltérő lipidperoxidációt tapasztaltunk, mint a fóliasátorban. A szántóföldi fungicid kezelés hatására a kukorica lipidperoxidációjának mértéke egy héttel a kezelést követően alacsonyabb volt, míg fóliasátorban a lipidperoxidáció mértéke kezelés hatására nem szignifikánsan nagyobb értéket mutatott. Egy héttel a kezelést követően a két alkalmazott gombaölő szer hatására a malondialdehid mennyisége a kontrollhoz viszonyítva alacsonyabb volt. Különbség a Fungicid készítmény 2-vel való kezelésben szignifikánsnak bizonyult, mértéke 28% (7. táblázat).

6. táblázat. *A fungicidek hatása a lipidperoxidációra (nmol MDA g<sup>-1</sup> FW, ismétlésszám = 6) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a permetezés után fóliasátorban végzett kísérletben (MDA: malondialdehid, FW: friss tömeg)*

Kezelés (1)	1. mintavétel (2)	2. mintavétel (3)
Kontroll (4)	69,18±9,72	78,00±17,44
Fungicid készítmény 1 (5)	74,00±5,88	78,28±10,55

Table 6. Effects of fungicide on the lipid peroxidation (nmol MDA g<sup>-1</sup> FW, n=6 ±S.D.), one and two weeks after treatment in a polytunnel (MDA: malondialdehyde, FW: fresh weight). (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1

7. táblázat. *A fungicidek hatása a lipid peroxidációra (nmol MDA g<sup>-1</sup> FW ±S.D., ismétlésszámszám = 6) egy (1. mintavétel) és két (2. mintavétel) héttel a permetezés után szántóföldi kísérletben (MDA: malondialdehid, FW: friss tömeg)*

Kezelés (1)	1.mintavétel (2)	2.mintavétel (3)
Kontroll (4)	81,20±6,54	57,61±3,01
Fungicid készítmény 1 (5)	77,60±11,85	58,51±3,36
Fungicid készítmény 2 (6)	58,59±8,06*	57,04±0,52

Megjegyzés: \*szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva Mann-Whitney U-teszt alapján, p<0,05.

Table 7. Effects of fungicides on the LP activity (nmol MDA g<sup>-1</sup> FW) one and two weeks after treatment in field study (Látókép Experiment Site) (MDA: malondialdehyde, FW: fresh weight). (1) Treatment, (2) First sampling, (3) Second sampling, (4) Control, (5) Fungicide 1, (6) Fungicide 2, Note: \*Significant difference compared to the control based on Mann-Whitney U test, p<0.05.

Liang et al. (2017) a malondialdehid mennyiségének csökkenését tapasztalták azoxistrobin hatóanyag tartalmú fungiciddel való kezelésnél, ami alátámasztja az első mintavétel időpontjában kapott eredményt.

A két termesztési környezet és a mintavételi időpontok között a vizsgált mutatók terén eltérést tapasztaltunk. Fungicid hatására, termesztési környezettől függetlenül, szignifikáns eltérést tapasztaltunk a relatív klorofilltartalomban, a szuperoxid-dizmutáz aktivitásában és a lipidperoxidációban. A szuperoxid-dizmutáz aktivitása két héttel a fungicid kezelés után növekedett, mind a két termesztési környezetben. A lipidperoxidáció mértékében egy héttel a kezelés után volt megfigyelhető eltérés a fungicid hatására, míg két héttel a kezelés után egyik termesztési rendszerben se volt jelentős kimutatható kü-

lönbség. Ez arra hívja fel a figyelmet, hogy a fungiciddel történő kezelés után néhány nappal megnő a kultúrnövény természetes védekezési mechanizmusa, mely során a méregtelenítésben résztvevő enzimek aktivitása növekszik. Eredményeinkből az is megállapítható, hogy a SOD enzim aktivitás változásához több időre volt szükséges, mint a lipidperoxidációban bekövetkező változáshoz.

A fungicid kezelést követő rövid időn belül (egy és két hét) csökkent a növények relatív klorofilltartalma, mely a későbbiekben negatívan befolyásolhatja a szerves anyag felhalmozást, ezen keresztül a biomassza képződését.

### Köszönetnyilvánítás



A kutatás az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-2 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság programjának támogatásával valósult meg. A szerzők köszönik Dr. Veres Szilvia PAM-2001 típusú fluorométer használatához nyújtott segítségét.

### Irodalom

- Bensoltane, S.–Djebbar, H.–Youbi, M.–Djebbar, M. R.*: 2006. Effects of two systemic fungicides: Artea (Propiconazole+cyproconazole) and Punch (Flusilazole) on the physiology and the respiratory metabolism of durum wheat (*Triticum durum* L.). Commun. Agric. Appl. Biol. Sci. 71. 3: 1041.
- Beyer, W. F.–Fridovich, I.*: 1987. Assaying for superoxide dismutase activity: some large consequences of minor changes in conditions. Anal. Biochem. 161. 2: 559–566.
- Chen, F.–Han, P.–Liu, P.–Si, N.–Liu, J.–Liu, X.*: 2014. Activity of the novel fungicides SYP-Z048 against plant pathogens. Sci. Rep. 43: 6473.
- Dias, M. C.–Figueiredo, P.–Duarte, F. I.–Gil, M. A.–Santos, C.*: 2014. Different responses of young and expanded lettuce leaves to fungicide Mancozeb: chlorophyll fluorescence, lipid peroxidation, pigments and proline content. Photosynthetica. 526. 1: 148–151.
- El-Beltagi, H. S.–Mohamed, H. I.*: 2013. Reactive oxygen species, lipid peroxidation and antioxidative defense mechanism. Not. Bot. Horti. Agrobo. 41. 1: 44–57.
- Giannopolitis, C. N.–Ries, S. K.*: 1977. Superoxide dismutases: I. Occurrence in higher plants. Plant Physiology. 59. 2: 309–314.
- Guillino, M. L.–Tinivella, F.–Garibaldi, A.*: 2010. Mancozeb: Past, Present, and Future. Plant Disease. 94: 1076–1087.

- Heath, R. L.–Packer, L.: 1968. Photoperoxidation in isolated chloroplasts. I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation. Archives in Biochemistry and Biophysics. 125: 189–198.
- Huzsvai L.: 2004: Biometriai módszerek az SPSS-ben SPSS alkalmazások. Debreceni Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar. Debrecen. 127.
- Jablonska, T. A.: 2017. Pesticides as Inducers of Oxidative Stress. Reactive Oxygen Species. 3. 8: 96–110.
- Jeyaratnam, J.: 1990. Acute pesticide poisoning: A major global health problem. World Health Stat Q. 43: 139–144.
- Kaneko, I.–Ishii, H.: 2009. Effect of azoxystrobin on activities of antioxidant enzymes and alternative oxidase in wheat head blight pathogens *Fusarium graminearum* and *Microdochium nivale*. Journal of General Plant Pathology. 75: 388.
- Kecskeméti L.–Izsó L.–Könyves Tóth E.: 2011. Bevezetés az IBM SPSS statistics programrendszerbe. Artéria Stúdió Kft. Budapest. 579.
- Koehle, H.–Grossmann, K.–Jabs, T.–Stierl, R.–Gerhard, M.–Kaiser, W.–Glabb, J.–Conrath, U.–Seehaus, K.–Herms, S.: 2002. Physiological effects of the strobilurin fungicide F500 on plants. [In: Lyr et al. (eds.) Modern Fungicides and Antifungal Compounds III.] Andover, Intercept. 61–74.
- KSH: 2016. Statisztikai tükör. Növényvédőszer-felhasználás. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/novenyvedoszer.pdf>
- Liang, S.–Xu, X.–Lu, Z.: 2017. Effect of azoxystrobin fungicide on the physiological and biochemical indices and ginsenoside contents of ginseng leaves. Journal of Ginseng Research. 42. 2: 175–182.
- Mohamadi, N.–Rajaei, P.: 2013: Effect of triamifon fungicide on some growth parameters and antioxidant enzymes activity in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) plant under drought stress. International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research. 1. 4: 341–350.
- Pepó P.: 2014. A növényi modellek szerepe a növénytermesztés versenyképességének a növelésében. Debreceni Szemle. 4: 311–320.
- Petit, A. N.–Fontaine, F.–Vatsa, P.–Clément, C.–Vaillant-Gaveau, N.: 2012. Fungicide impacts on photosynthesis in crop plants. Photosynth. Res. 111: 315–326.
- Pimentel, D.–Pimentel, M.: 2006. Global environmental resources versus world population growth. Ecological Economics. 59. 2: 195–198.
- Querns, R.–MacDonald, G. E.–Gaffney, J. F.–Chase, C. A.–Moya, H. A.–Shilling, D. G.–Bewick, T. A.: 1998. Effects of N,N'-dibutylurea on photosynthetic electron transport reactions in isolated chloroplasts. Pestic. Biochem. Phys. 59: 129–135.
- Sangeetha, R.: 2010. Activity of superoxide dismutase and catalase in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) in response to carbendazim. Indian J. Pharm. Sci. 72. 1: 116–118.
- Shamra, P.–Jha, A. B.–Dubey, R. S.–Pessarakli, M.: 2012: Reactive oxygen species, oxidative damage, and antioxidative defense mechanism in plants under stressful conditions. Journal of Botany. 1–26.

- Singh, G.–Kaur, D.*: 2016. Studies on the antioxidative stress responses of fungicides carbendazim and mancozeb in seedlings of brassica (*Brassica campestris* L.). International Research Journal of Environment Sciences. 5. 2: 57–62.
- Scheiber, U.–Kühl, M.–Klimant, I.–Reising, H.*: 1996. Measurement of chlorophyll fluorescence within leaves using a modified PAM Fluorometer with a fiber-optic microprobe. Phytosynthesis Research. 47: 103–109.
- Suzuki, T.–Nojiri, H.–Isono, H.–Ochi, T.*: 2004. Oxidative damages in isolated rat hepatocytes treated with the organochlorine fungicides captan, dichlofluanid and chlorothalonil. Toxicology. 204. 2–3: 97–107.
- Uddling, J.–Gelang-Alfredsson, J.–Piikki, K.–Pleijel, H.*: 2007. Evaluating the relationship between leaf chlorophyll concentration and SPAD-502 chlorophyll meter readings. Photosynth. Res. 91: 37–46.
- Zhang, Y.–Zhang, X.–Chen, J. C.–Zhou, G. M.–Wang, C. H.*: 2010. Effects of fungicides JS399-19, azoxystrobin, tebuconazole, and carbendazim on the physiological and biochemical indices and grain yield of winter wheat. Pesticide Biochemistry and Physiology. 98. 2: 151–157.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Illés Árpád – \*Dr. Tóth Brigitta  
Debreceni Egyetem  
Táplálkozástudományi Intézet  
Debrecen  
Egyetem tér 1.  
H-4032  
\*btoth@agr.unideb.hu

\*Jelenlegi cím:  
University of the Free State  
Faculty of Natural and Agricultural Sciences  
Institute of Plant Sciences (Plant Breeding)  
PO Box 339  
Bloemfontein 9300  
Republic of South Africa

Dr. Nagy Antal  
Debreceni Egyetem MÉK  
Növényvédelmi Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032



## Az alumínium toxikus tüneteinek mérséklése baktériumokat tartalmazó készítménnyel a kukorica korai növekedési stádiumában

KACZUR DÁVID - TÓTH BRIGITTA

Debreceni Egyetem Táplálkozástudományi Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

Kísérletünkben az alumínium (Al) toxikus hatását és annak mérséklési lehetőségét vizsgáltuk baktériumkészítmény alkalmazásával kukoricán (*Zea mays* L.). A növényeket hidropóniásan, kontrollált körülmények között neveltük. Az alumíniumot  $\text{AlCl}_3$  formában adagoltuk a tápoldathoz 0,1; 1; 5; 10 és 20 mg/kg koncentrációban. A használt baktériumkészítmény *Pseudomonas* és *Bacillus* törzset tartalmazott.

A kísérlet során mértük a második és harmadik levél klorofill-a, klorodill-b és karotinoid tartalmát, a gyökér teljes hosszát és a gyökérátmérő szerinti gyökérhosszt, a hajtás és a gyökér száraztömegét, valamint a hajtás és a gyökér alumíniumkoncentrációját. A klorofill-a mennyisége a kezelések hatására – a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelés kivételével – nőtt a második levélben, a kontrollértékhez viszonyítva. A klorofill-b és a karotinoidok mennyisége a 0,1; 1 és 5 ppm  $\text{AlCl}_3$ , valamint a baktériumkezelés hatására is szignifikánsan magasabb volt a kontrollban mért értékhez képest. A kukorica gyökerének teljes hosszára az 5, 10 és 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelés volt toxikus hatással. Ezeknél a kezeléseknél baktériumkezelés hatására nőtt a gyökerek teljes hossza az Al-kezeléshez viszonyítva. A gyökér akkumulálta az alumíniumot, a hajtásba történt szállítás viszont gátolt volt. A hajtásban az Al-koncentrációja 0,1 ppm Al+baktérium és 1 ppm Al+baktérium kezelés hatására nőtt, míg az 5 ppm alumínium koncentrációnál szignifikáns csökkenés volt tapasztalható, amikor baktériumkészítményt adtunk a tápoldathoz. A gyökérben mért alumínium koncentráció minden kezelésnél szignifikánsan nőtt a kontrollhoz viszonyítva. Az 5, 10 és 20 ppm alumínium koncentrációnál a felvett alumínium koncentrációja csökkent baktérium kezelés hatására a baktérium nélküli kezeléshez viszonyítva.

Az eredmények alapján bebizonyítottuk, hogy az alkalmazott baktériumkészítmény alkalmas lehet az alumínium toxikus hatásának csökkentésére, de a hatást jelentősen befolyásolja az alumíniumkoncentráció.

**Kulcsszavak:** alumínium, kukorica, növényi növekedés, tápanyag-gazdálkodás

## Reducing the toxic effects of aluminum with bacterial product in the early growth stage of maize

D. KACZUR – B. TÓTH

University of Debrecen Institute of Nutrition Sciences, Debrecen

### Summary

The toxic effect of aluminum (Al) was examined on maize (*Zea mays* L.). The population was grown under controlled environmental conditions. Aluminum was applied in the form of  $\text{AlCl}_3$  0.1; 1; 5; 10 and 20  $\text{mg kg}^{-1}$  concentrations. The applied biological product contained *Pseudomonas* and *Bacillus* bacteria.

The chlorophyll-a, chlorophyll-b, and carotenoid content in the second and third leaf, the total root length and length of roots based on root diameter, the dry weight of shoots and roots and the aluminum concentration in the shoot and roots of 28 days old maize were measured. The relative chlorophyll content was measured in the second leaves and the obtained values were between 35.10 and 49.78, respectively. The relative chlorophyll content increased significantly in the second leaves. The concentration of chlorophyll increased as an effect of the treatments - except in the one with 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  - in the second leaves compared to the control. The amount of chlorophyll-b and carotenoids were significantly higher in the 0.1, 1 and 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  and bacterial treatment compared to the control. The 5, 10 and 20 ppm  $\text{AlCl}_3$ -treatments had a toxic effect on the length of the root. The root length was longer at 5, 10 and 20 ppm Al treatment when bacteria was applied, compared to Al-treatment. As a result of the additional bacterial treatment the root grew compared to the Al-treatment alone. Aluminum accumulated in the root, however transportation to the shoot was retarded. The concentration of Al was higher at 0.1 ppm Al+bacteria and 1 ppm Al+bacteria treatments in the shoot, while at 5 ppm was significantly lower when bacteria was

added to the nutrient solution. The Al concentration was lower at 5, 10 and 20 ppm Al-treatment when bacteria product was added to the nutrient solution, compared to the Al-treatment.

Due to our results, the applied bacterium products could be used to reduce the effect of aluminum toxicity on plants.

**Key words:** aluminum, maize, nutrient supply, plant growth

## Уменьшение токсичных симптомов алюминия препаратом, содержащим бактерии, в ранней стадии роста кукурузы

Д. КАЦУР – Б. ТОТ

Дебреценский Университет, Институт Науки о Питании, Дебрецен

### Резюме

В нашем опыте мы исследовали токсичное влияние алюминия (Al) и возможности его уменьшения применением бактериального препарата на кукурузе (*Zea mays* L.). Растения выращивали гидропонично, в контролируемых условиях. Алюминиюм в форме  $AlCl_3$  дозировали к питательному раствору в концентрации 0,1; 1; 5; 10 и 20 mg/kg. Применённый бактериальный препарат содержал штаммы *Pseudomonas* и *Bacillus*.

В ходе опыта измеряли содержание хлорофилла-а, хлорофилла-б и каротиноида второго и третьего листа, полную длину корня и по диаметру корня длину корня, сухую массу побега и корня, а также концентрацию алюминия а побеге и в корне. Количество хлорофилла-а под влиянием обработок – кроме дозы в 20 ppm  $AlCl_3$  – выросло во втором листе, по сравнению с величиной контроля. Количество хлорофилла-б и каротиноидов под влиянием обработок 0,1; 1 и 5 ppm  $AlCl_3$ , и обработок бактериями также значительно было выше по сравнению с измеренными величинами контроля. Дозы в 5, 10 и 20 ppm  $AlCl_3$  были токсичного влияния на полную длину корня кукурузы. В этих обработках под влиянием доз бактерий выросла полная длина корней по сравнению с обработками Al-ем. Корень аккумулировал алюминий, но поставка в побег была заторможенной. В побеге концентрация Al под влиянием обработок 0,1 ppm Al+бактерии и 1 ppm Al+бактерии выросла, а при концент-

рации alumíniuma в 5 ppm jelentős csökkenés megfigyelhető, amikor hozzáadjuk a bakteriális készítményt a tápanyagoldathoz. Az alumínium koncentrációja a gyökérben minden kezeléskor szignifikánsan magasabb volt a kontrollhoz képest. A 5, 10 és 20 ppm alumínium koncentrációk mellett a vizsgált alumínium koncentráció csökkenett a bakteriális kezeléssel szemben a kontrollhoz képest.

Az eredmények alapján igazolták, hogy a vizsgált bakteriális készítmény alkalmazása csökkenti az alumínium mérgező hatását, de az alumínium koncentrációja továbbra is jelentős hatással bír.

**Ключевые слова:** alumínium, kukorica, növény növekedése, tápanyagok

## Bevezetés

A világ teljes szárazföldi területének megközelítőleg 70%-át használjuk növénytermesztésre. Napjainkban a szárazföldi területek 30–40%-ának pH-ja erősen savas (Bian *et al.* 2013), ami megnehezíti a növénytermesztést. A savanyú talajon történő növénytermesztés során a növények megfelelő tápanyag-felvételre akadályozott, ami csökkenti a termés mennyiségét és minőségét (Kochian *et al.* 2015), ami hatással van a növénytermesztéssel foglalkozók bevételére is. Ennek megfelelően a kutatások egy része az alumínium toleráns növények nevelésére alapozódik, és közben egyre nagyobb hangsúlyt kap a probléma molekuláris és genetikai megközelítése (Kochian 1995).

A talaj savanyodása Magyarország talajait is érinti, ugyanis a talajsavanyodás a legkiterjedtebb degradációs folyamat hazánkban (Várallyay 2000). A talajsavanyúság előidézői főleg az éghajlatváltozás, a növényzet és az alapkőzet, azaz természetes okok, valamint az antropogén hatások, a mezőgazdasági eljárások, a műtrágyázás és a környezetszennyezés (Várallyay 2005). Az alumínium (Al) a földkéreg leggyakoribb fém összetevője. Az alumínium a mészkő és a homok kivételével a kőzetek alapvető alkotói közé tartozik, aránya 0,45–10% között változik. Elsősorban alumínium-szilikátok és -oxidok formájában fordul elő (Kabata-Pendias és Pendias 2001). A talajok savanyodásával párhuzamosan egyre nagyobb problémát jelent az alumínium toxicitás, ugyanis az alumínium savanyú talajokon jobban oldódik és a növények könnyebben fel-

tudják venni (Dragana et al. 2012). Az alumínium már kis koncentrációban is toxikus lehet a növények számára, a toxikus koncentráció faj- és fajtafüggő (Imadi et al. 2016). Az alumíniummérgezés jellemző tünetei közé tartozik, hogy a növények gyökerének és hajtásának hossznövekedése leáll, élettani és biokémiai folyamatai gátlódnak, a növények tápanyag- és vízfelvétele csökken (Lidon et al. 2000, Panda et al. 2009, Yang et al. 2015, Jaskowiak et al. 2018). Az alumíniummérgezésben szenvedő növényekben a legtöbb esszenciális makroelem (Ca, Mg, K, N és P) és mikroelem (Cu, Fe, Mn és Zn) felvétele lelassul, a hajtásba történő szállítása és a biokémiai folyamatokban történő hasznosulása csökken (Purcino et al. 2003, Garzon et al. 2011). Az alumínium toxicitás változásokat okoz a levelek klorofilltartalmában (Yang et al. 2015), és számos élettanilag fontos szerepet játszó enzim aktivitásában (Sinomovicová et al. 2004, Zhou et al. 2009, Sun et al. 2018).

Kísérletünkben az alumínium toxikus hatását vizsgáltuk kukoricán, mint az egyik meghatározó szántóföldi növényen, és a toxikus hatás mérséklésének lehetőségét *Pseudomonas* sp. és *Bacillus* sp. törzseket tartalmazó baktériumkészítmény használatával. Sheng et al. (2008) kutatása szerint a növények számára toxikus nehézfém-koncentráció kompenzálható nehézfém toleráns baktériumtörzsek alkalmazásával. Több tanulmány is foglalkozott a baktériumok pozitív hatásaival, nehézfémekkel terhelt talajon, vagy tápoldat alkalmazásával (Rajkumar et al. 2009, Tóth et al. 2013, Ayangbenro és Babalola 2017, Bojtor és Tóth 2017). A baktériumok a növényekhez hasonlóan szerves savakat választanak ki (Wei et al. 2018), az alumínium komplexet képez a szerves savval, és az így létrejött alumínium-szerves sav komplex nehezen, vagy egyáltalán nem felvehető a növények számára (Ma 2000). Egyes baktériumok, úgynevezett szideroforokat választanak ki, a szideroforral az alumínium szintén komplexet tud képezni, ezáltal csökken a növények által felvett alumínium mennyisége (Matthews et al. 1979, Beveridge et al. 1982).

Célunk volt, annak bizonyítása, hogy a baktériumot tartalmazó készítmény alkalmas az alumínium toxikus hatásának mérséklésére, azáltal, hogy csökkenti a gyökérnövekedésre és a klorofilltartalomra gyakorolt negatív hatást.

### Anyag és módszer

Kísérleti növényként kukoricát (*Zea mays* L. cv. DKC 5170) használtunk. A magvak felületének fertőtlenítését 6%-os H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-dal végeztük el. Ezt követően a

magvakat desztillált vízzel ötször leöblítettük, majd a jobb csírázás érdekében négy órán keresztül  $10\ \mu\text{M}$ -os  $\text{CaSO}_4$  oldatban áztattuk. A magvakat nedves szűrőpapír között, termosztátban csíráztattuk négy napig, úgy, hogy a csíranövények polaritása természetes legyen. A termosztát hőmérséklete  $22\ ^\circ\text{C}$  volt. A  $4\ \text{cm}$ -es koleoptilú kukorica csíranövényeket tápoldatra helyeztük, kezelésként 12 növényt. A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtuk:  $0,5\ \text{M}\ \text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ;  $0,1\ \text{M}\ \text{K}_2\text{PO}_4$ ;  $0,5\ \text{M}\ \text{MgSO}_4$ ;  $0,5\ \text{M}\ \text{K}_4\text{SO}_4$ ;  $0,1\ \text{M}\ \text{KCl}$ ;  $10\ \mu\text{M}\ \text{H}_3\text{BO}_3$ ;  $1\ \mu\text{M}\ \text{MnSO}_4$ ;  $1\ \mu\text{M}\ \text{ZnSO}_4$ ;  $0,2\ \mu\text{M}\ \text{CuSO}_4$ ;  $0,01\ \mu\text{M}\ (\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ . A növények a vasat  $100\ \mu\text{M}\ \text{Fe}(\text{III})$  - EDTA formában kapták. Az alumínium  $\text{AlCl}_3$  formában került alkalmazásra az alábbi koncentrációkban:  $0,1$ ;  $1$ ;  $5$ ;  $10$  és  $20\ \text{ppm}$ . A kísérlet során 12 kezelést alkalmaztunk. A kezeléseket listáját az 1. táblázat mutatja be.

1. táblázat. A kísérlet során alkalmazott kezelések és azok jelölése

Kezelések (1)	Jelölés (2)
Kontroll tápoldat (3)	Kontroll (4)
Kontroll tápoldat (3)+baktériumkészítmény (5)	Kontroll+BE
$0,1\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$	$0,1\ \text{ppm}$
$0,1\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$ +baktériumkészítmény (5)	$0,1\ \text{ppm}+\text{BE}$
$1\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$	$1\ \text{ppm}$
$1\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$ +baktériumkészítmény (5)	$1\ \text{ppm}+\text{BE}$
$5\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$	$5\ \text{ppm}$
$5\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$ +baktériumkészítmény (5)	$5\ \text{ppm}+\text{BE}$
$10\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$	$10\ \text{ppm}$
$10\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$ +baktériumkészítmény (5)	$10\ \text{ppm}+\text{BE}$
$20\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$	$20\ \text{ppm}$
$20\ \text{ppm}\ \text{AlCl}_3$ +baktériumkészítmény (5)	$20\ \text{ppm}+\text{BE}$

Table 1. Applied treatments during the experiment. (1) Treatments, (2) Indication, (3) Control nutrient solution, (4) Control, (5) Bacterium product

A tápoldatot kétnaponta cseréltük, a tápoldat levegőztetése folyamatos volt. A tápoldat pH-ját OPTIMA 200A (USA) típusú pH-mérővel, minden tápoldat-csere alkalmával mértük. A régi (használt) tápoldat pH-jának és az új (friss) tápoldat pH-jának különbségéből számoltuk ki a tápoldat pH-jának változását ( $\Delta\text{pH}$ ) (2. táblázat).

2. táblázat. A tápoldat pH-ja különböző kezelések hatására és a tápoldat pH-jának változása ( $n=39 \pm S.D.$ )

Kezelések (1)	pH	$\Delta$ pH
Kontroll (2)	6,61±0,07	-1,10
Kontroll+BE	6,48±0,05	-1,62
0,1 ppm	6,20±0,02	-0,73
0,1 ppm+BE	6,37±0,13	-0,54
1 ppm	5,25±0,07	-0,68
1 ppm+BE	5,76±0,10	-0,52
5 ppm	4,89±0,02	-0,48
5 ppm+BE	5,03±0,03	-0,35
10 ppm	4,73±0,02	-0,57
10 ppm+BE	4,79±0,04	-0,43
20 ppm	4,54±0,04	-0,31
20 ppm+BE	4,58±0,03	-0,24

Table 2. pH of nutrient solution treated with different concentration  $AlCl_3$  (0.1; 1; 5; 10 and 20 ppm) and bacterium product (BE). (1) Treatments, (2) Control

A kísérleti növényeket 1,7 literes edényekben neveltük. A kísérletet három ismétlésben állítottuk be, egy edény négy növényt tartalmazott.

A kísérletet klímaszobában, szabályozott körülmények között állítottuk be: a fényintenzitás  $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , a hőmérséklet periodicitása  $25/20^\circ\text{C}$  (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra volt. Az abszolút klorofill-a, b és karotinoid tartalmat Metertek SP 80 Spektrométerrel mértük Moran és Porath (1980) módszere és Wellburn (1994) alapján. A 28 napos kukorica száraztömeg meghatározásához a kezelésként kilenc friss növényi mintát  $65^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk, majd szobahőmérsékletre történt visszahűlés után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük. A kukorica gyökerének hosszát, valamint a gyökérátmérő szerint csoportosított gyökerek hosszát WinRhizo Softwer-rel (Regent Instrument Inc., Canada) határoztuk meg. Az alumíniumkoncentráció meghatározáshoz egy OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES) alkalmaztunk. Az általunk használt baktériumkészítmény egy kereskedelmi forgalomban kapható, viszkózus folyadék, mely két baktériumot, az *Azotobacter chroococcumot* ( $1-2 \times 10^9$  db/cm<sup>3</sup>) és a *Bacillus megathe-*

*riumot* ( $1-2 \times 10^8$  db/cm<sup>3</sup>) tartalmazta. Az alkalmazott baktériumkészítményt 1 ml/dm<sup>3</sup> koncentrációban használtuk, amit minden tápoldat-cserénél a tápoldathoz adagoltunk.

A felsorolt paraméterek a kísérlet 28. napján kerültek mérésre.

Az eredmények statisztikai kiértékelésénél a Sigma Plot 12.0 verziót használtuk az egytényezős variancia-analízishez.

### Eredmények

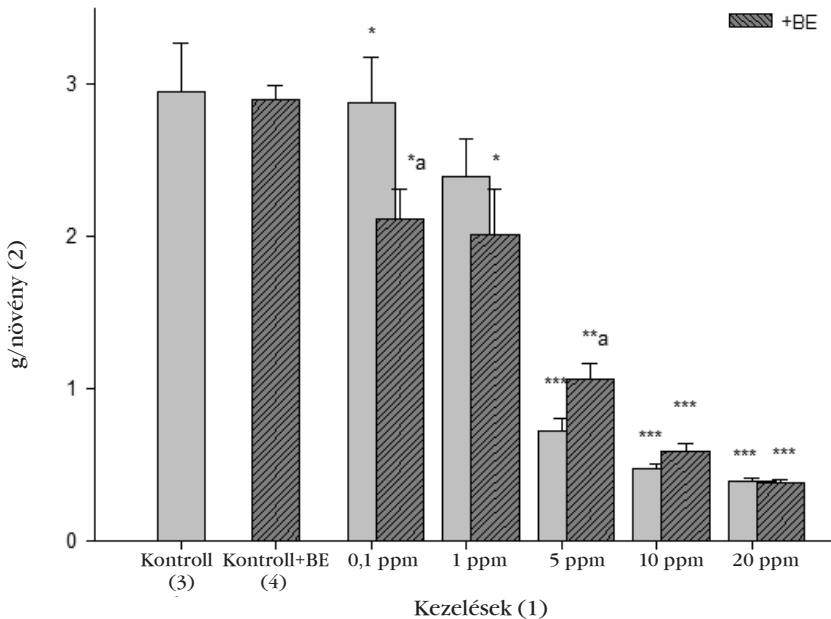
A kukorica hajtásának száraz tömege minden kezelés hatására alacsonyabb volt a kontrollhoz képest. A kukorica hajtásának száraz tömege 20%-kal, szignifikánsan nagyobb volt baktériumkészítmény hatására az 5 ppm AlCl<sub>3</sub> kezelésnél. A kukorica gyökerének száraz tömege a 0,1 és 1 ppm AlCl<sub>3</sub> kezelés hatására nőtt a kontrollhoz viszonyítva. Az eredmények alapján megállapítható, hogy az alkalmazott koncentrációk közül az 5 ppm AlCl<sub>3</sub>-nál volt kimutatható a baktériumkezelés kedvező hatása a hajtás és a gyökér száraz tömegére (*1-2. ábra*). Kísérletünkben a legnagyobb, 20 ppm Al-koncentrációnál a hajtás száraz tömege 86%-kal, a gyökéré 64%-kal volt alacsonyabb a kontrollhoz képest. Ennek alapján a kísérletünkben a hajtás érzékenyebben reagált a toxikus, 20 ppm AlCl<sub>3</sub> koncentrációra, mint a gyökér.

Az alumínium hatását a kukorica teljes gyökérhosszára és az átmérő szerint csoportosított gyökerek hosszára a *3. táblázat* mutatja be. A teljes gyökérhosszra az 5, 10 és 20 ppm AlCl<sub>3</sub> kezelés volt toxikus hatással. Az 5 ppm-nél a teljes gyökérhossz 70%-kal, 10 ppm-nél 82%-kal, 20 ppm-nél 85%-kal szignifikánsan rövidebb volt a kontrollhoz képest. Baktériumkezelés hatására az 5 ppm AlCl<sub>3</sub> kezelésnél 15%, a 10 ppm-nél 20%-kal, a 20 ppm-nél 6%-kal volt hosszabb a gyökér teljes hossza az Al-kezeléshez viszonyítva. A kukorica teljes gyökérhosszára, valamint a gyökérátmérő szerint csoportosított gyökerek hosszára a 0,1 ppm Al-kezelés nem volt toxikus hatással. A teljes gyökérhossz megközelítőleg 4 m-rel, a 0,2 mm átmérőnél kisebb gyökerek hossza 5 m-rel nőtt a kontrollhoz képest. Az 5 ppm AlCl<sub>3</sub> kezelésnél a 0,2 mm-nél kisebb átmérőjű gyökerek hossza 1,5 m-rel (37%) nőtt baktérium kezelés hatására a baktérium nélküli kezeléshez viszonyítva. A 0,2–0,4 mm átmérőjű gyökerek hossza 20%-kal, a 0,4–0,6 mm átmérőjű gyökéré megközelítőleg 30%-kal hosszabb volt, amikor baktérium készítmény és alumínium együtt volt alkalmazva. A 10 ppm alumínium kezelésnél a 0,4–0,6 mm átmérőjű gyökerek hossza nem szig-



nifikánsan, a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációnál a 0,2 mm átmérőnél kisebb gyökerek (17%) és a 0,4–0,6 mm átmérőjű gyökerek hossza 48%-kal volt hosszabb, amikor baktérium készítményt is adtunk a tápoldathoz, a baktérium nélküli alumínium kezeléshez viszonyítva.

1. ábra. A 28 napos kukorica hajtásának száraz tömege különböző koncentrációjú (0,1; 1; 5; 10 és 20 ppm)  $\text{AlCl}_3$  és baktériumkezelés (BE) hatására ( $n=9 \pm \text{S.E.}$ )

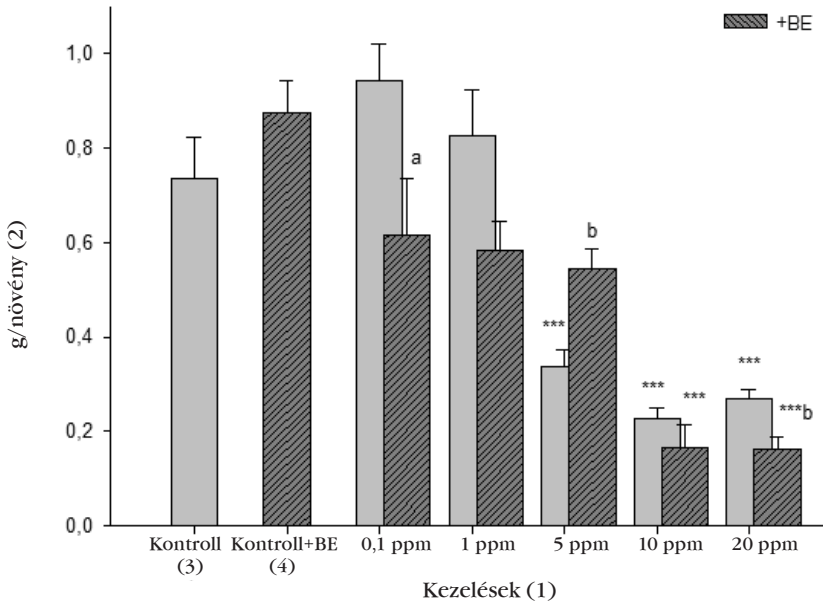


Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ ; szignifikáns különbség az Al-kezeléshez viszonyítva: <sup>a</sup> $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> $p < 0,01$ .

Figure 1. The dry weight of 28 days old maize shoot treated with different concentrations of  $\text{AlCl}_3$  (0.1; 1, 5, 10 and 20 ppm) and bacteria (BE). (1) Treatments, (2) g per plant, (3) Control, (4) Control+BE, Note: significant difference compared to the control: \* $p < 0,05$ ; \*\* $p < 0,01$ ; \*\*\* $p < 0,001$ , significant difference compared to the Al treatment: <sup>a</sup> $p < 0,05$ , <sup>b</sup> $p < 0,01$ .

A kísérlet végén a 28 napos kukorica második és harmadik levelében mértük a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét. A mért értékek a 4. táblázatban láthatók. A klorofill-a mennyisége a kezelések hatására – a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelés kivételével – magasabb volt a második levelben, a kontroll értékhez viszonyítva. A legnagyobb érték 15,23 mg/g a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelésnél volt, ami 48%-os növekedés a kontroll növényben mért értékhez képest.

2. ábra. A 28 napos kukorica gyökerének száraz tömege különböző koncentrációjú (0,1; 1; 5; 10 és 20 ppm)  $\text{AlCl}_3$  és baktériumkezelés (BE) hatására ( $n=9 \pm \text{S.E.}$ )



Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: \*\*\* $p < 0,001$ ; szignifikáns különbség az Al-kezeléshez viszonyítva: <sup>a</sup> $p < 0,05$ ; <sup>b</sup> $p < 0,01$ .

Figure 1. The dry weight of 28 days old maize root treated with different concentrations of  $\text{AlCl}_3$  (0.1; 1, 5, 10 and 20 ppm) and bacteria (BE). (1) Treatments, (2) g per plant, (3) Control, (4) Control+BE, Note: significant difference compared to the control: \*\*\* $p < 0.001$ , significant difference compared to the Al treatment: <sup>a</sup> $p < 0.05$ , <sup>b</sup> $p < 0.01$ .

Az 1 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelésnél a klorofill-a mennyisége 15%-kal, a klorofill-b 23%-kal szignifikánsan nőtt baktérium kezelés hatására a baktérium nélküli Al-kezeléshez képest. A 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelésnél a klorofill-a mennyisége szignifikánsan, 46%-kal volt alacsonyabb, míg baktériumkezeléssel kontroll körüli értéket kaptunk. A klorofill-b és a karotinoidok mennyisége a 0,1; 1 és 5 ppm  $\text{AlCl}_3$ , valamint a baktériumkezelés hatására is szignifikánsan magasabb volt a kontrollban mért értékhez viszonyítva. A 10 és 20 ppm koncentrációknál a klorofill-b nem szignifikánsan, a karotinoidok mennyisége szignifikánsan alacsonyabb volt a második levélben. A klorofill-a,b és a karotinoidok mennyisége a legtöbb kezelés hatására alacsonyabb volt a kukorica második levelében, vagy kontroll körüli érték volt mérhető. A kísérlet során vizsgáltuk a klorofill a/b arányt és annak változását alumínium és baktériumkezelés hatására.

3. táblázat. A 28 napos kukorica gyökerének hossza (m) különböző koncentrációjú (0,1; 1; 5; 10 és 20 ppm)  $AlCl_3$  és baktériumkezelés (BE) hatására ( $n=5 \pm S.E.$ )

Kezelések (1)	Teljes hossz (m) (2)	<0,2 mm átmérő (m) (3)	0,2-0,4 mm átmérő (m) (4)	0,4-0,6 mm átmérő (m) (5)
Kontroll (6)	20,62±6,84	11,57±3,57	5,60±1,95	1,84±0,99
Kontroll+BE	23,21±1,23**	13,98±2,10**	6,80±0,61*	2,10±0,21**
0,1 ppm	24,59±4,95	16,62±3,94a	6,60±1,42	2,46±0,95
0,1 ppm+BE	21,12±3,26	11,79±2,07	5,25±1,71	1,53±0,62
1 ppm	23,89±8,78	14,72±4,99	6,94±2,66	2,58±0,96
1 ppm+BE	23,58±7,91	13,82±5,16	4,88±2,04**b	1,12±0,51
5 ppm	6,17±1,76**	2,62±0,81***	1,26±0,42**	1,07±0,39
5 ppm+BE	7,25±2,17**	4,13±1,04**a	1,57±0,74**b	1,51±0,46
10 ppm	2,96±0,81**	2,06±0,83***	0,43±0,15**	0,15±0,08**
10 ppm+BE	3,69±0,74**	2,20±0,49***	0,62±0,44**	0,18±0,07**
20 ppm	3,11±0,64*	1,73±0,64***	0,32±0,09**	0,23±0,09*
20 ppm+BE	3,32±0,57**	2,11±0,44***	0,31±0,07**	0,44±0,11**

Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: \* $p<0,05$ , \*\* $p<0,01$ , \*\*\* $p<0,001$ . Szignifikáns különbség az Al-kezeléshez viszonyítva: <sup>a</sup> $p<0,05$ ; <sup>b</sup> $p<0,01$ .

Táblázat 3. The root length of 28 days old maize (m) after treatment with different concentrations (0.1; 1; 5; 10 and 20 ppm)  $AlCl_3$  and bacteria ( $n=5 \pm S.E.$ ). (1) Treatments, (2) Total root length, (3) <0.2 mm diameter, (4) 0.2-0.4 mm diameter, (5) 0.4-0.6 mm diameter, (6) Control, (7) Bacterium treatment. Note: significant difference compared to the control. \* $p<0,05$ , \*\* $p<0,01$ , \*\*\* $p<0,001$ , significant difference compared to the Al treatment: <sup>a</sup> $p<0,05$ , <sup>b</sup> $p<0,01$ .

4. táblázat. A 28 napos kukorica második és harmadik levelében mért klorofill a, b és karotinoid-tartalom (mg/g) alakulása különböző koncentrációjú (0,1; 1; 5; 10 és 20 ppm)  $AlCl_3$  és baktériumkezelés (BE) hatására ( $n=3 \pm S.E.$ )

Kezelések (2)	Klorofill-a (3)	Klorofill-b (4)	a/b arány (5)	Karotinoidok (6)
2. levél (1)				
Kontroll (7)	7,97±0,98	2,25±0,34	3,5	8,00±0,61
Kontroll+BE	10,17±1,82	2,66±0,34	3,8	7,46±0,79
0,1 ppm	9,81±0,12	2,97±0,44	3,3	8,17±0,89
0,1 ppm+BE	12,15±0,41	3,52±0,29*	3,5	8,42±0,40
1 ppm	12,12±0,73*	3,66±0,18**	3,3	9,08±0,23
1 ppm+BE	14,23±0,58a	4,73±0,46**a	3,0	10,20±0,37*
5 ppm	15,23±0,81**	5,27±0,78**	2,9	10,01±0,28*
5 ppm+BE	13,98±0,16	4,22±0,12**	3,3	10,58±0,37*
10 ppm	8,44±0,57	2,08±0,01	4,0	6,63±0,50
10 ppm+BE	7,10±1,38	1,97±0,64	3,6	6,23±0,05*
20 ppm	4,30±0,04*	1,18±0,59	3,6	5,45±0,07*
20 ppm+BE	7,51±0,24	1,83±0,03	4,1	6,32±0,36*
3. levél (8)				
Kontroll (7)	14,04±0,95	4,59±0,23	3,0	10,24±0,23
Kontroll+BE	15,21±0,32*	4,12±0,51	3,7	11,21±0,64
0,1 ppm	13,23±0,08	3,74±0,41*	3,5	9,26±0,21
0,1 ppm+BE	12,28±0,36a	3,47±0,31*	3,5	8,42±0,54*
1 ppm	12,45±0,07	3,57±0,09*	3,5	8,19±0,05*
1 ppm+BE	12,62±0,24	3,57±0,32*	3,5	8,48±0,27**
5 ppm	13,85±0,81	4,34±0,31	3,2	9,47±0,71
5 ppm+BE	13,96±0,78	4,19±0,34	3,3	10,69±0,71
10 ppm	10,27±0,18	2,47±0,29**	4,2	7,27±0,66**
10 ppm+BE	8,81±0,22	2,11±0,27**	4,2	6,28±0,37**
20 ppm	10,15±0,68a	2,84±0,32**	3,6	6,89±0,44**
20 ppm+BE	8,97±0,71	2,49±0,48**	3,6	6,17±0,49**

Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: \* $p<0,05$ ; \*\* $p<0,01$ ; \*\*\* $p<0,001$ ; szignifikáns különbség az Al-kezeléshez viszonyítva: <sup>a</sup> $p<0,05$ ; <sup>b</sup> $p<0,01$ .

Table 4. The chlorophyll-a, b and carotenoids content in the second and third leaf of 28 days old maize treated with  $AlCl_3$  (0.1; 1; 5; 10 and 20 ppm) and bacteria (BE) ( $n=3 \pm S.E.$ ). (1) Treatments, (2) 2<sup>nd</sup> leaf, (3) Chlorophyll-a, (4) Chlorophyll-b, (5) Chlorophyll-a : chlorophyll-b ratio, (6) Carotenoids, (7) Control, (8) 3<sup>rd</sup> leaf, Note: significant difference compared to the control: \* $p<0,05$ , \*\* $p<0,01$ ; significant difference compared to the Al treatment: <sup>a</sup> $p<0,05$ , <sup>b</sup> $p<0,01$ .

A klorofill a/b arány a második levélben 2,9–4,1 között változott. A kontrollhoz képest az 5 ppm AlCl<sub>3</sub>, 10 ppm AlCl<sub>3</sub> és a 20 ppm AlCl<sub>3</sub> + baktérium kezelésnél volt jelentős változás. A harmadik levélben minden kezelés hatására nőtt a klorofill a/b arány, a legnagyobb érték a 10 ppm Al- és baktériumkezelésnél volt. Kísérletünkben a karotinoid tartalom a növekvő Al-koncentrációval párhuzamosan csökkent.

A kukorica hajtásában és gyökerében is mértük az alumínium koncentrációját. A hipotézis az volt, hogy a baktériumkezelés mérsékelni tudja az alumínium felvételét, ezáltal csökkenti az Al-toxicitás tüneteit. Az 5. táblázat adataiból jól látható, hogy a gyökér akkumulálta az alumíniumot, a hajtásba történt szállítás viszont gátolt volt.

5. táblázat. A 28 napos kukorica hajtásában és gyökerében mért alumínium koncentráció (mg/kg) különböző koncentrációjú (0,1; 1; 5; 10 és 20 mg/kg) AlCl<sub>3</sub> és baktériumkezelés (BE) hatására (n=3 ±S.E.)

Kezelések (1)	Hajtás (2)	Gyökér (3)
Kontroll (4)	3,9±0,0	20±0,5
Kontroll+BE	3,7±0,1	18±0,9
0,1 ppm	3,7±0,0	182±7,5***
0,1 ppm+BE	4,2±0,0*	200±10,2**
1 ppm	4,1±0,0*	461±10,5***
1 ppm+BE	14,4±0,0***c	534±15,7***
5 ppm	7,5±0,2	3870±20,3**
5 ppm+BE	5,3±0,0***b	2040±32,4**b
10 ppm	18,9±0,5***	6700±30,5***
10 ppm+BE	18,3±0,3***	5600±65,2***b
20 ppm	64,7±1,2***	6940±48,3***
20 ppm+BE	52,3±2,1***	5850±59,6***b

Megjegyzés: szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: \*p<0,05; \*\*p<0,01; \*\*\*p<0,001; szignifikáns különbség az Al-kezeléshez viszonyítva: <sup>b</sup>p<0,01; <sup>c</sup>p<0,001..

Table 5. The concentration of Al in the shoot and the root of 28 days old maize treated with Al (0,1; 1; 5; 10 and 20 ppm AlCl<sub>3</sub>) and bacteria (BE) (n=3 ±S.E.). (1) Treatments, (2) Shoot, (3) Root, (4) Control, Note: significant difference compared to the control: \*\*p<0.01, \*\*\*p<0.001; significant difference compared to the Al treatment: <sup>b</sup>p<0.01, <sup>c</sup>p<0.001.

A gyökérben felhalmozódó Al magyarázatot ad a gyökérnövekedés gátlására is. A hajtásban az Al-koncentrációja 0,1 ppm Al + baktérium és 1 ppm Al + baktériumkezelés hatására magasabb volt, míg az 5 ppm Al-koncentrációnál szignifikáns csökkenés volt, amikor baktériumot adtunk a tápoldathoz. A 10 ppm Al-koncentrációnál nem változott a hajtásban mért Al-koncentrációja, míg 20 ppm-nél megközelítőleg 20%-kal csökkent a felvett Al-koncentrációja baktériumkezelés hatására. A gyökérben mért Al-koncentráció minden kezelésnél szignifikánsan alacsonyabb volt a kontrollhoz viszonyítva. Az 5, 10 és 20 ppm Al-koncentrációnál a felvett Al-koncentrációja csökkent baktérium kezelés hatására a baktérium nélküli kezeléshez viszonyítva. Ez a csökkenés 5 ppm-nél 1830 ppm (47%), 10 ppm-nél 1100 ppm (16%), 20 ppm-nél 1090 ppm (16%) volt.

### Az eredmények megvitatása

Kísérletünkben az alumínium toxicitás hatását vizsgáltuk kukoricán, hidropóniás kísérletben, kontrollált körülmények között. Célunk volt annak bizonyítása, hogy baktériumkészítménnyel csökkenthető az alumínium toxikus hatása a kukorica mért fiziológiai paraméterein.

Az alumínium eltérő mértékben lehet toxikus a növényekre. Jelenléte minden esetben akadályozza az arra érzékeny növények fejlődését és növekedését. Az alumíniumra legérzékenyebb növényi szerv a gyökér (*Jaskowiak et al.* 2018), azonban ezt a kísérleti eredményeink nem támasztották alá, ugyanis a hajtás száraztömeg 19, 78, 84 és 87%-kal volt alacsonyabb a kontrollhoz képest az 1, 5, 10 és 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezeléseknél. Ezzel szemben a gyökér száraztömege 18%, 54, 69 és 64%-kal volt alacsonyabb ugyanazon alumíniumkoncentrációknál a kontrollhoz képest. Az alumínium növekedésre gyakorolt gátló hatása azonban jól megfigyelhető volt az 5, 10 és 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációknál. Nincs arra bizonyíték, hogy az alumínium esszenciális tápelem az alumínium toleráns növények számára, de kis koncentrációban serkentheti a növekedést (*Pais és Jones* 1997). Kísérletünkben 0,1 ppm és 1 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezelés hatására a kukorica gyökerének száraz tömege nagyobb volt a kontrollhoz viszonyítva. A hajtás száraz tömege a növekvő  $\text{AlCl}_3$  koncentrációval párhuzamosan csökkent a 0,1 és a 10 ppm között, míg a 10 és a 20 ppm koncentrációnak nem volt szignifikáns hatása. *Farias et al.* (2011) kukoricával végzett kísérletükben azonos eredményt kaptak, ugyanis a növekvő alumíniumkoncentrációval arányosan csökkent a hajtás száraz tömege. Kísérletünkben a vizsgált baktériumké-

szítmény kedvező hatását tudtuk kimutatni az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációnál. A hajtás száraz tömege 20%-kal, a gyökéré 38%-kal szignifikánsan nagyobb volt 5 ppm  $\text{AlCl}_3$ +BE hatására, csak az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezeléshez viszonyítva. Hasonló hatást tapasztaltunk a gyökérhossz vizsgálatánál. A teljes gyökérhossz és a 0,4–0,6 mm átmérőjű gyökerek hossza nem szignifikánsan, míg a 0,2 mm-nél kisebb és a 0,2–0,4 mm átmérőjű gyökerek hossza szignifikánsan hosszabb volt baktériumkészítmény hatására az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációnál, csak az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációjú kezeléshez viszonyítva.

A fotoszintézis az egyik legfontosabb anyagcsereút, amelyre az alumínium, egyes kutatók szerint közvetlenül hat (*Chen et al.* 2010, *Ribeiro et al.* 2013), többek között a peroxidatív körülmények előidézésével, melynek következményeként a kloroplasztisz membránlipid és fehérje komponensei lebomlanak (*Li et al.* 2016), míg mások csak közvetett hatást figyeltek meg. *Simon* (2006) szerint az alumínium nem a fotoszintézis közvetlen gátlásával, hanem a levelek fejlődésének akadályozásával (a levélterület lecsökkentésével) fejti ki a szárazanyag-hozamra gyakorolt gátló hatását. Irodalmi adatok alapján a toxikus alumíniumkoncentráció csökkenti a klorofilltartalmat (*Mukhopadhyay et al.* 2012), gátolja a II. fotokémiai rendszer elektrontranszport láncát (*Liao et al.* 2015), valamint változik a klorofill a:b arány (*Ying és Liu* 2005), továbbá a stressz hatások egyik jellemzője az összes klorofill:karotinod arány változása (*Hendry és Price* 1993). Kísérletünkben szintén megfigyeltük az alumínium toxikus hatását a klorofilltartalomra. A legnagyobb hatása a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációnál volt tapasztalható. A második levélben mért klorofill-a koncentrációja magasabb volt baktériumkészítménnyel való kezelés hatására a 0,1; 1 és 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentrációnál.

Szintén a baktériumkészítmény pozitív hatását tudtuk kimutatni a felvett alumínium koncentrációjára. Mind a hajtásban, mind a gyökérben a mért alumíniumkoncentráció szignifikánsan alacsonyabb volt az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$ +BE kezelésnél, az 5 ppm  $\text{AlCl}_3$  kezeléshez viszonyítva, továbbá a gyökérben mért alumínium koncentrációja a 10 és a 20 ppm  $\text{AlCl}_3$ +BE kezeléseknél is szignifikánsan alacsonyabb volt, a baktériumkészítmény nélküli alumíniumkezeléshez viszonyítva. *Tóth et al.* (2013) kísérletükben szintén azt tapasztalták, hogy baktérium kezelés hatására csökken az uborka gyökérében és hajtásában mért alumínium koncentrációja. *Arora et al.* (2017) kukoricával végzett kísérletükben azt tapasztalták, hogy a gyökér által felvett alumínium koncentrációja

kisebbsé volt, amikor *Burkholderia* törzssel inokulálták a magvakat, míg a *Bacillus* törzsnél nem találtak ilyen hatást 60  $\mu\text{M}$  alumíniumkoncentrációnál.

A baktériumok nehézfém- és alumíniumstressz elleni védekezésben játszott szerepe a következőkkel magyarázható: 1) a Gram pozitív baktérium sejtfalában megkötődik az alumínium (Beveridge et al. 1982), 2) a baktériumok poliszaharidokat, szerves savakat és szideroforokat választanak ki, az alumínium ezekhez kapcsolódva, komplexet képezve, nehezebben felvehető a növények számára (Matthews et al. 1979, Fekete és Baligar 1992). A vizsgált baktérium készítményben található baktérium törzsekről bebizonyították, hogy jelentős a sziderofor termelésük (Santos et al. 2014, Baars et al. 2017). Hu és Bojer (1996) kísérletükben azt tapasztalták, hogy a *Bacillus megaterium* sziderofor termelését a táptalaj alumíniumkoncentrációja befolyásolja. Növekvő alumíniumkoncentrációval párhuzamosan nő a megtermelt sziderofor mennyisége, és nő a baktérium által felvett és akkumulált alumínium koncentrációja.

Több kutatás is foglalkozott a baktériumok alumínium érzékenységgel. Pina és Cervantes (1996) azt tapasztalták, hogy a *Pseudomonas fluorescens* számára az 50  $\mu\text{M}$  alumíniumkoncentráció már toxikus. Továbbá megállapították, hogy a *Pseudomonas* képes az alumíniumot akkumulálni. Zahran (1999) szerint a különböző rhizobium fajok rezisztensek az 50  $\mu\text{M}$  alumínium koncentrációra. Irodalmi adatok szerint a *Bacillus megaterium* nem érzékeny az alumíniumra, az alumíniumot akkumulálni képes (Hu és Bojer 1996). Rizvi és Khan (2018) azt tapasztalták, hogy az *Azotobacter chroococcum* rezisztens a réz és az ólom toxicitásra, míg az alumíniumra vonatkozóan ilyen adatok nem állnak rendelkezésre.

Kísérletünkben a növekvő alumíniumkoncentrációval párhuzamosan csökkent a tápoldat pH-ja. A 20 ppm  $\text{AlCl}_3$  koncentráció hatására mértük a legalacsonyabb pH-t. Az alacsony pH hatását a baktériumok számára és élettevékenységére több kutató is vizsgálta. Mukhtar et al. (2018) az *Azotobacter* pH toleranciáját vizsgálták 5–9 pH közötti tartományban. Megállapították, hogy az *Azotobacter* 5 pH-n is képes szaporodni, de lényegesen kevesebb a baktériumszám, mint 7–8 pH között. Gould és Hitchins (1963) 2–3 pH közötti tartományban figyelték meg a spórák lizozim és hidrogén-peroxid érzékenységét. Rowley és Levinson (1967) azt tapasztalták, hogy a *Bacillus megaterium* spóráinak kation-vesztése a 4 pH alatti tartományban a legnagyobb. Fein et al. (2005) 2–10 pH tartomány között beállított kísérletben a *Bacillus subtilis*-re gyakorolt hatást vizsgálták. Megállapították, hogy 10 pH felett a baktérium sejtfala elvesz-



ti szerkezeti integritását, és megnő a kiválasztott szerves molekulák mennyisége, 4 pH érték alatt szintén a sejtfal károsodása figyelhető meg (*Borrok et al.* 2004). Kétségtelen, hogy a nevelőközeg, jelen esetben a tápoldat pH-ja hatással van a baktériumok szaporodására, számára, de a jelenlegi irodalmi adatok alapján a baktériumok akár a 2–3 pH-t is képesek túlélni.

### Következtetések

A termesztett növények nehezen alkalmazkodnak a savanyú kémhatású talajok nagy felvehető alumíniumtartalmához, így a '70-es évek óta a kutatások egyre jobban a haszonnövények alumíniumtoleranciájának javítására irányulnak. Ahhoz, hogy az alumínium-toxicitásnak jobban ellenálló növényfajokat és fajtákat tudjunk előállítani, meg kell ismernünk az alumíniumtolerancia növényélettani, biokémiai és genetikai háttereit. Ennek megfelelően a kutatások egy része az alumínium-toleráns növények nemesítésére alapozódnak, és közben egyre nagyobb hangsúlyt kap a probléma molekuláris és genetikai megközelítése. Azonban azokban az országokban, ahol a genetikailag módosított növények termesztése nem megengedett, olyan lehetőségek kutatása indokolt, amik csökkentik az alumínium toxicitás okozta káros hatásokat, és növelik a növénytermesztés eredményességét.

Eredményeink alapján bebizonyítottuk, hogy a baktériumot tartalmazó készítmény alkalmas lehet az alumínium okozta stressz hatások csökkentésére, de a hatást jelentősen meghatározza az alumíniumkoncentráció.

### Köszönetnyilvánítás

A szerzők köszönik a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növénytan és Növényélettani Tanszék Klímaszobájának használatát.

### Irodalom

*Arora, P.-Singh, G.-Tiwari, A.*: 2017. Effect of microbial inoculation in combating the aluminum toxicity effect on growth of *Zea mays*. Cellular and Molecular Biology. 63. 6: 79–82.

- Ayangbenro, A. S.–Babalola, O. O.: 2017. A new strategy for heavy metal polluted environment: A review for microbial biosorbents. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 14. 94: 1–16.
- Baars, O.–Zhang, X.–Gibson, M. I.–Stone, A. T.–Morel, F. M. M.–Seyedsayamdost, M. R.: 2017. Crochelins: siderophores with an unprecedented iron-chelating moiety from the nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*. *Angewandte Chemie*. 57. 2: 536–541.
- Beveridge, T. J.–Forsberg, C. W.–Doyle, R. J.: 1982. Major sites of metal binding in *Bacillus licheniformis* walls. *J. Bacteriol.* 150. 3: 1438–1448.
- Bian, M.–Zhou, M.–Sun, D.–Li, C.: 2013. Molecular approaches unravel the mechanism of acidic soil tolerance in plants. *The Crop Journal*. 1: 91–104.
- Bojtor Cs.–Tóth B.: 2017. Mangán-ellátottság és baktériumtrágya közötti kölcsönhatás vizsgálata hidropóniásan nevelt kukoricánál. *Növénytermelés*. 66. 2: 7–24.
- Borrok, D.–Fein, J. B.–Tischler, M.–O'Loughlin, E.–Meyer, H.–Liss, M.–Kemner, K. M.: 2004. The effect of acidic solutions and growth conditions on the adsorptive properties of bacterial surfaces. *Chemical Geology*. 209. 1–2: 107–119.
- Chen, L. S.–Qi, Y. P.–Jiang, H. X.–Yang, L. T.–Yang, H.: 2010. Photosynthesis and photo-protective systems of plants in responses to aluminum toxicity. *African Journal of Biotechnology*. 54: 9237–9247.
- Dragana, K.–Ivica, D.–Dragoslav, N.–Dragana, B.: 2012. Aluminium in Acid Soils: Chemistry, Toxicity and Impact on Maize Plants, Food Production – Approaches, Challenges and Tasks.
- Farias, E. S. T.–Pintro, J. C.–Da Silva, M. A. G.–Muniz, A. S.–Marchetti, M. E.–Nollia, A.–Noemi, P.: 2011. Aluminum toxicity in corn plants cultivated with low and high ionic strength nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 34: 465–475.
- Fein, J. B.–Boily J. F.–Yee, N.–Gorman-Lewis, D.–Turner, B. F.: 2005. Potentiometric titrations of *Bacillus subtilis* cells to low pH and a comparison of modelling approaches. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 69. 5: 1123–1132.
- Fekete, F. W.–Baligar, L. L.: 1992. Effects of iron(III) analogs on growth and pseudobactin synthesis in a chromium-tolerant *Pseudomonas* isolate. *Biol. Metals*. 4: 211–216.
- Garzon, T.–Gunse, B.–Moreno, A. R.–Tomos, A. D.–Barcelo, J.–Poschenrieder, C.: 2011. Aluminum-induced alteration of iron homeostasis in root tip vacuoles of two maize varieties differing in Al tolerance. *Plant Sci*. 180: 709–715.
- Gould, G. W.–Hitchins, A. D.: 1963. Sensitization of bacterial spores to lysozyme and to hydrogen peroxide with agents which rupture disulphide bonds. *J. Gen. Microbiol.* 33: 413–423.
- Hendry, G. A. F.–Price, A. H.: 1993. Stress Indicators: Chlorophylls and Carotenoids. [In: Hendry, G. A. F.–Grime, J. P. (eds.) *Methods in Comparative Plant Ecology*.] Chapman Hall. London. 148–152.
- Hu, X.–Bojer, G. L.: 1996. Siderophores-mediated aluminum uptake by *Bacillus megaterium* ATCC 19213. *Applied and Environmental Microbiology*. 62. 11: 4044–4048.

- Imadi, S. R.–Waseem, S.–Kazi, A. G.–Azooz, M. M.–Ahmed, P.*: 2016. Aluminum toxicity in plants. [In: Ahmed, P. (ed.) Plant Metal Interaction, Emerging Remediation Techniques.] 652.
- Jaskowiak, J.–Tkaczyk, O.–Słota, M.–Kwasniewska, J.–Szarajko, I.*: 2018. Analysis of aluminum toxicity in *Hordeum vulgare* roots with an emphasis on DNA integrity and cell cycle. Plos One 13. 2: e0193156
- Kabata-Pendias, A. H.–Pendias, A.*: 2001. Trace Elements in Soils and Plants (Third edition). CRC Press LLC. Boca Raton–London–New York–Washington D.C.
- Kochian, L. V.*: 1995. Cellular Mechanisms of Aluminum Toxicity and Resistance in Plants. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology. 46: 237–260.
- Kochian, L. V.–Píneros, M. A.–Liu, J.–Magalhaes, J. V.*: 2015. Plant adaptation to acid soils: the molecular basic for crop aluminum resistance. Annu. Rev. Plant. Biol. 66. 1: 571–598.
- Li, H.–Yang, L. T.–Qi, P.–Guo, P.–Lu, Y. B.–Chen, L. S.*: 2016. Toxicity-induced alterations of leaf proteome in two citrus species differing in aluminum tolerance. Int. J. Mol. Sci. 17. 7: 1180–1199.
- Liao, X. Y.–Yang, L. T.–Lu, Y. B.–Ye, X.–Chen, L. S.*: 2015. Roles of rootstocks and scions in aluminum-tolerance of Citrus. Acta Physiol. Plant. 37: 1–15.
- Lidon, F. C.–Aznheira, H. G.–Barreiro, M. G.*: 2000. Aluminum toxicity in maize: biomass production and nutrient uptake and translocation. Journal of Plant Nutrition. 23: 151–160.
- Ma, J. F.*: 2000. Role of organic acids in detoxification of aluminum in higher plants. Plant and Cell Physiology. 41: 383–390.
- Matthews, T. H.–Doyle, R. J.–Streips, U. N.*: 1979. Contribution of peptidoglycan to the binding of metal ions by the cell wall of *Bacillus subtilis*. Curr. Microbiol. 3: 51–53.
- Moran, R.–Porath, D.*: 1980. Chlorophyll Determination in Intact Tissues Using N,N-Dimethylformamide. Plant Physiol. 65: 478–479.
- Mukhopadhyay, M.–Bantawa, P.–Das, A.–Sarkar, B.–Bera, B.–Ghosh, P.–Mondal, K. T.*: 2012. Changes of growth, photosynthesis and alteration of leaf antioxidative defence system of tea [*Camellia sinensis* (L.) O. Kuntze] seedlings under aluminum stress. Biometals. 25: 1141–1154.
- Mukhtar, H.–Bashir, H.–Nawaz, A.–Haq, I.*: 2018. Optimization of growth conditions for *Azotobacter* species and their use of biofertilizer. J. Baxterial. Mycol. 6. 5: 274–278.
- Pais, I.–Jones, J. B.*: 1997. The handbook of trace elements. St. Lucie Press. Boca Raton.
- Panda, S. K.–Baluska, F.–Matsumoto, H.*: 2009. Aluminum stress signaling in plants. Plant Signal Behav. 4. 7: 592–597.
- Pina, R. G.–Cervantes C.*: 1996. Microbial interactions with aluminum. Biometal. 9. 3: 311–316.

- Purcino, A. A. C.–Alves, V. M. C.–Parentoni, S. N.–Belele, C. L.–Loguercio, L. L.: 2003. Aluminum effects on nitrogen uptake and nitrogen assimilating enzymes in maize genotypes with contrasting tolerance to aluminum toxicity. *J. Plant Nutr.* 26: 31–61.
- Rajkumar, M.–Ae, M. N. V.–Freitas, H.: 2009. Potential of siderophore-producing bacteria for improving heavy metal phytoextraction. *Trends in Biotechnology.* 28. 3: 142–149.
- Ribeiro, M. A. Q.–de Almeida, A. A. F.–Mielke, M. S.–Gomes, F. P.–Baligar, V. C.: 2013. Aluminum effects on growth, photosynthesis, and mineral nutrition of cacao genotypes. *Journal of Plant Nutrition.* 36: 1161–1179.
- Rizvi, A.–Khan, M. S.: 2018. Heavy metal induced oxidative damage and root morphology alterations of maize (*Zea mays* L.) plants and stress mitigation by metal tolerant nitrogen fixing *Azotobacter chroococcum*. *Ecotoxicol. Environ. Saf.* 157: 9–20.
- Rowley, D. B.–Levinson, H. S.: 1967. Changes in spores of *Bacillus megaterium* treated with thioglycolate at a low pH and restoration of germinability and heat resistance by cations. *Journal of Bacteriology.* 93. 3: 1017–1022.
- Santos, S.–Neto, I. F.–Machado, M. D.–Soares, H. M.–Soares, E. V.: 2014. Siderophore production by *Bacillus megaterium*: effect of growth phase and cultural conditions. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 172. 1: 549–560.
- Sheng, X. F.–Juan, X.–Yu, J.–Lin, Y.–Qian, M.: 2008. Characterization of heavy metal-resistant endophytic bacteria from rape (*Brassica napus*) roots and their potential in promoting the growth and lead accumulation of rape. *Environmental Pollution.* 156: 1164–1170.
- Simon L.: 2006. Toxikus elemek akkululációja, fitoindukciója és fitoremediációja a talaj–növény rendszerben. Magyar Tudományos Akadémia Doktori Értekezés. 205.
- Simonovicová, M.–Tamás, L.–Muttová, J.–Mistik, J.: 2004. Effect of aluminum on oxidative stress related enzymes activities in barley roots. *Biologia Plantarum.* 48. 2: 261–266.
- Sun, J. W.–Du, N. C.–Zhang, Y. F.: 2018. Effects of aluminum stress on protective enzyme activity in the guanyin leaves. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* 108: 22–20.
- Tóth, B.–Lévai, L.–Kovács, B.–Borbélyné Varga, M.–Veres, Sz.: 2013. Compensation effect of bacterium containing biofertilizer on the growth of *Cucumis sativus* L. under Al-stress condition. *Acta Biol. Hung.* 64. 1: 64–74.
- Várallyay, Gy.: 2000. Risk assessment and prevention of soil degradation processes in Hungary. [In: Cottam et al. (eds.) *Foresight and Precaution.*] Balkema. Rotterdam. 563–567.
- Várallyay, Gy.: 2005. Soil multifunctionality as a key issue in sustainable development. Proceedings of the International Scientific Conference „Innovation and Utility in the Visegrad Fours”. Volume 1. Environmental Management and Environmental Protection. October 13–15, 2005. Nyíregyháza, Hungary. Continent-Ph. Nyíregyháza. 61–66.

- Wei, Y.-Zhao, Y.-Shi, M.-Cao, Z.-Yang, T.-Fan, Y.-Wei, Z.:* 2018. Effects of organic acid production and bacterial community on the possible mechanisms of phosphorous solubilization during composting with enriched phosphate-solubilizing bacteria inoculation. *Bioresource Technology*. 247: 190–199.
- Wellburn, A. R.:* 1994. The Spectral Determination of Chlorophylls a and b, as well as Total Carotenoids, Using Various Solvent with Spectrophotometers of Different Resolution. *J. Plant Physiol*. 144: 307–313.
- Yang, M.-Tan, L.-Xu, Y.-Zhao, Y.-Cheng, F.-Ye, S.-Jiang, W.:* 2015. Effect of low pH and aluminum toxicity on the photosynthetic characteristics of different fast-growing Eucalyptus vegetatively propagated clones. *Plos One* 10. 6: 1–15.
- Ying, X. F.-Liu, P.:* 2005. Effects of aluminum stress on photosynthetic characters of soybean. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 16: 166–170.
- Zahrán, H. H.:* 1991. Rhizobium-legume symbiosis and nitrogen fixation under severe condition and in arid climate. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 63: 968–989.
- Zhou, S.-Sauvé, R.-Thannhauser, T. W.:* 2009. Proteome changes induced by aluminum stress in tomato roots. *J. Exp. Bot.* 57: 4201–4213.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Kaczur Dávid – Dr. Tóth Brigitta\*  
Debreceni Egyetem  
Táplálkozástudományi Intézet  
Debrecen  
Egyetem tér 1.  
H-4032  
\*btoth@agr.unideb.hu

\*Jelenlegi cím:  
University of the Free State  
Faculty of Natural and Agricultural Sciences  
Institute of Plant Sciences (Plant Breeding)  
PO Box 339  
Bloemfontein 9300  
Republic of South Africa



## Interaktív agrotechnikai hatások a hibridspecifikus kukorica (*Zea mays* L.) termesztésben

PEPÓ PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytudományi Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

A hazai kukoricatermesztés továbbfejlesztésének kulcskérdése a termesztéstechnológiában ható agrotechnikai elemek közötti interaktív hatások mind teljesebb hasznosítása és azok hibridekre történő adaptációja. Tartamkísérletben csernozjom talajon vizsgáltuk a különböző kukorica hibridek (Sushi, Loupiac, Armagnac, Fornad) trágya- és tőszámreakcióját 2017. és 2018. években. A rendkívül szélsőséges időjárású évjáratok kedvezőtlen klimatikus hatásait a kiváló vízgazdálkodású csernozjom talaj, a hibridek adaptációs képessége, valamint az optimális közeli agrotechnika jelentősen mérsékelni tudta (2017. évben 10,2–16,7 t/ha, 2018. évben 9,3–15,9 t/ha terméseredményeket kaptunk). A kedvező talaj miatt magas kontroll (műtrágyázás nélküli) termés szintet adtak a hibridek (2017. évben 10,5–12,0 t/ha, 2018-ban 9,3–13,6 t/ha). A műtrágyázás hatására kapott terméstöbblet ennek ellenére jelentős mértékű volt (2017. évben 4,4–6,1 t/ha, 2018. évben pedig 3,5–4,4 t/ha a hibridek átlagában). Az állománysűrűség növelése a kontroll kezelésben mérsékeltebb terméstöbbletet (2017. évben 0–0,5 t/ha, 2018. évben 0,8–3,1 t/ha) eredményezett, mint az optimális NPK műtrágyázás esetén (0,6–4,6 t/ha, illetve 1,2–2,9 t/ha hibridtől függően), ami a trágyázás×tőszám szoros kölcsönhatását bizonyította. Optimális műtrágya adagnak 2017-ben az N=120–150 kg/ha+PK, 2018-ban az N=90–120 kg/ha bizonyult hibridtől függően.

**Kulcsszavak:** kukorica, trágyázás, állománysűrűség, hibrid, kölcsönhatás

## Interactive agrotechnical effects in the hybrid-specific maize (*Zea mays* L.) production

P. PEPÓ

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

### Summary

The key question of developing maize production in Hungary is to comprehensively utilise the interactive effects between the agrotechnical elements of production technology, as well as to adapt them to hybrids. We examined the fertiliser and plant density response of various maize hybrids (Sushi, Loupiac, Armagnac, Fornad) in a long-term experiment on chernozem soil in 2017 and 2018. The unfavourable climatic effects of the especially extreme weather of the examined crop years were significantly mitigated by the outstanding water management characteristics of the chernozem soil, the adaptability of the maize hybrids and the near-optimal agrotechnical background (the obtained yields were between 10.2–16.7 t ha<sup>-1</sup> in 2017 and 9.3–15.9 t ha<sup>-1</sup> in 2018). The examined hybrids produced high control (non-fertilised) yield level due to the favourable soil (10.5–12.0 t ha<sup>-1</sup> in 2017 and 9.3–13.6 t ha<sup>-1</sup> in 2018). However, the yield surplus resulting from fertilisation was significant (4.4–6.1 t ha<sup>-1</sup> in 2017 and 3.5–4.4 t ha<sup>-1</sup> in 2018, averaged over the examined hybrids). Increasing plant density resulted in a more moderate yield surplus in the control treatment (0–0.5 t ha<sup>-1</sup> in 2017 and 0.8–3.1 t ha<sup>-1</sup> in 2018) than in the case of optimal NPK fertilisation (0.6–4.6 t ha<sup>-1</sup> and 1.2–2.9 t ha<sup>-1</sup>, depending on the given hybrid), which showed the close correlation of fertilisation × plant density. The optimal fertiliser dose was N=120–150 kg ha<sup>-1</sup>+PK in 2017 and N=90–120 kg ha<sup>-1</sup> in 2018, depending on the examined hybrid.

**Key words:** maize, fertilisation, plant density, hybrid, interaction



## Интерактивные агротехнические влияния в выращивании гибридно специфичной кукурузы (*Zea mays* L.)

П. ПЕПО

Дебреценский Университет МЭК

Институт Ботаники, Дебрецен

### Резюме

Ключевым вопросом дальнейшего развития выращивания кукурузы в Венгрии является более полное использование интерактивных влияний среди влияющих на технологию выращивания агротехнических элементов и их адаптация на гибриды. В продолжительном опыте на чернозёмной почве исследовали реакцию различных гибридов кукурузы (Sushi, Loupiac, Armagnac, Fornad) на удобрение и число стеблей в 2017 и 2018 годах. Неблагоприятные климатические влияния чрезвычайно экстремальных годов выращивания смогли значительно уменьшить чернозёмная почва с отличным водохозяйствованием, адаптивная способность гибридов, а также близкая к оптимальной агротехника (в 2017 году 10,2–16,7 t/ha, в 2018 году 9,3–15,9 t/ha результаты урожая получили). Из-за благоприятной почвы высокий уровень контрольного (без искусственных удобрений) урожая дали гибриды (в 2017 году 10,5–12,0 t/ha, в 2018 году 9,3–13,6 t/ha). Несмотря на это полученная под влиянием искусственного удобрения прибавка урожая была значительной (в 2017 году 4,4–6,1 t/ha, а в 2018 году 3,5–4,4 t/ha в среднем по гибридам). Увеличение густоты насаждения привело к меньшей прибавки урожая в контрольной обработке (в 2017 году 0–0,5 t/ha, в 2018 году 0,8–3,1 t/ha), чем в случае оптимального искусственного удобрения NPK (0,6–4,6 t/ha, и 1,2–2,9 t/ha в зависимости от гибрида), что подтвердило тесное взаимовлияние удобрения×количество стеблей. Оптимальной дозой искусственного удобрения оказалось в 2017 году N=120–150 kg/ha+PK, в 2018 году N=90–120 kg/ha в зависимости от гибрида.

**Ключевые слова:** кукуруза, внесение удобрений, густота насаждения, гибрид, взаимное влияние

## Bevezetés

A kukorica mint C4-es növény az egyik legnagyobb termőképességgel rendelkező szántóföldi növényi kultúra a mérsékelt éghajlati övben. A nemesítés eredményeként jelentősen nőtt a kukorica genetikai terméspotenciálja. A környezeti és agrotechnikai negatív hatások miatt ennek a genetikai terméspotenciálnak csak 25–35%-át tudjuk realizálni. Az elmúlt évtizedekben számos hazai és külföldi kísérletben vizsgálták a különböző tényezőknek a kukorica termésmennyiségére és termésstabilitására gyakorolt hatását. Az egyik ilyen klasszikus tartamkísérlet (Gyórfy 1976) eredményei szerint a trágyázás 27%-ban, a fajta 26%-ban, az ápolás 24%-ban, az állománysűrűség 20%-ban, a mélyművelés 3%-ban határozta meg a kukorica termését. Sárvári (1995), Berzsényi és Lap (2005), Nagy (2005), Árendás (2006), Pepó (2006), Izsáki (2007) és Széll *et al.* (2010) ugyancsak több évtizedes tartamkísérleteik alapján bizonyították a műtrágyázás jelentős termésmenővelő hatását a kukoricánál. A trágyázás termést befolyásoló hatását nagymértékben módosította a vízellátás (Körschens 2006, D'Haene *et al.* 2007, Vad *et al.* 2007, Pepó 2009, Vári és Pepó 2011). A kukorica hibridek tápanyagreakciója jelentősen eltér egymástól. Azok a hibridek különösen értékesek a gyakorlati termesztés szempontjából, amelyeknek jó a természetes tápanyaghasznosításuk és kedvező a műtrágyázás hatására kapott terméstöbbletük (Sárvári 1984, Pepó 2001). Az optimális, harmonikus NPK trágyázás mellett kiemelkedően fontos a termőhelyre, a hibridre és az agrotechnikai modellre adaptált állománysűrűség megválasztása a kukoricatermesztésben (Carlone és Russel 1987, Nagy 1989, Sárvári 1995, Pepó *et al.* 2006, Pepó és Murányi 2014). Különböző ökológiai és agrotechnikai feltételek mellett végzett kísérletekben a kukorica 80–90 ezer/ha állománysűrűségénél érték el a maximális termést (Widdicombe és Thelen 2002, Gozübenli *et al.* 2004, Hoshang 2012). Ugyanakkor nagyon szoros interakció lehetett kimutatni a kukorica tőszáma és tápanyagellátása között, azaz megfelelő trágyaadagok nélkül nem lehetett az állománysűrűséget növelni (Russel 1991, Nagy 1996, Pepó és Vad 2017).

Csernozjom talajon beállított tartamkísérletünkben a célunk az volt, hogy vizsgáljuk a különböző kukorica genotípusok műtrágya- és tőszámreakciójának a kölcsönhatását eltérő évjáratokban.

## Anyag és módszer

A kísérleteket a Debreceni Egyetem MÉK Növénytudományi Intézet Látóképi Kísérleti Telepén végeztük 2017. és 2018. években. A kísérleti telep Debrecen-től nyugatra fekszik a Hajdúsági Lőszháton (Ész.  $47^{\circ}33'$ , Kh.  $21^{\circ}27'$ ). A tartamkísérlet beállításának éve 1983 volt. A kísérlet talaja mészlepedékes csernozjom, melynek humusztartalma 2,6%, a humuszréteg vastagsága 80–100 cm. A kísérlet talaja jó kultúr állapotú, középkötött, talajfizikailag a vályog kategóriába ( $K_A=42$ ) sorolható. A talaj eredeti AL-oldható  $P_2O_5$  tartalma 130 mg/kg, AL-oldható  $K_2O$  tartalma pedig 240 mg/kg.

A tartamkísérletben hat tápanyagszintet alkalmaztunk. A kontroll kezelés (műtrágyázás nélkül) mellett az alap műtrágya adag ( $N=30$ ,  $P_2O_5=22,5$ ,  $K_2O=26,5$  kg/ha) két-, három-, négy- és ötszörös mennyiségét juttattuk ki. A nitrogén műtrágya 50%-a ősssel, 50%-a tavasszal, a foszfor és kálium műtrágyák teljes mennyisége (100%) pedig ősssel került kiszórásra. A kísérlet split-split-plot elrendezésű. A bruttó és nettó parcellaterület 9,12 m<sup>2</sup>, illetve 7,60 m<sup>2</sup> volt. A kísérletet négy ismétlésben állítottuk be.

A kísérletben három tőszámom négy eltérő genotípusú kukorica hibridet vizsgáltunk. A tőszámok 65 ezer/ha, 75 ezer/ha és 85 ezer/ha; a hibridek pedig a következők: Sushi, Loupiac, Armagnac, Fornad.

A kísérletben mindkét évben őszi búza szerepelt előveteményként. A tartamkísérletben egységes agrotechnikát (talajművelés, vetés, növényvédelem, betakarítás) alkalmaztunk, amely megfelelt a korszerű kukorica termesztés követelményeinek az adott tájörzetben.

A kísérleti évek fontosabb meteorológiai adatait az *1–2. táblázat* tartalmazza.

A kedvező vízgazdálkodású csernozjom talaj vízkészletét mindkét őszi-téli periódusban lehullott csapadék jelentős mértékben feltöltötte. Különösen nagymértékben növekedett a talaj diszponibilis vízkészlete a 2017. október–2018. március közötti időszakban (a sokévi átlagnál +131,7 mm-rel több csapadék hullott). A kukorica tenyészidejében lehullott csapadék megoszlása ugyanakkor sokkal kedvezőbb volt a 2017. évben, amikor mind a keléskor (áprilisban 50,4 mm), mind az erőteljes vegetatív fejlődéskor (júniusban 62,3 mm), mind a virágzás–termékenyüléskor (júliusban 71,6 mm) elegendő csapadék hullott, de a tavaszi induló vízkészlet is megfelelő volt (a vegetációs periódus előtti hónapok csapadékösszege +14,8 mm-rel haladta meg a sokévi átlagot).

1. táblázat. A csapadék mennyisége a kukorica vegetációs periódusa előtt és a tenyészidőszak alatt (Debrecen)

Tenyészév (1)	Vegetáció előtti csapadék (okt.- márc.) (mm) (2)	Csapadék (mm) (3)						
		Ápr. (4)	Máj. (5)	Jún. (6)	Júl. (7)	Aug. (8)	Szept. (9)	Összesen (10)
2017	235,0	50,4	31,9	62,3	71,6	47,5	91,7	355,4
2018	345,8	36,6	60,0	66,8	41,9	97,5	20,6	323,4
30 éves átlag (11)	214,1	52,8	64,0	66,5	66,1	49,0	47,5	346,0

Table 1. The amount of precipitation before the vegetation period of maize and during the growing season (Debrecen). (1) Year, (2) Precipitation before vegetation (October - March) (mm), (3) Precipitation (mm), (4) April, (5) May, (6) June, (7) July, (8) August, (9) September, (10) Total, (11) 30-year-average

2. táblázat. A havi átlaghőmérséklet a kukorica tenyészideje alatt (Debrecen)

Tenyészév (1)	Havi átlaghőmérséklet (°C) (2)						Átlag (9)
	Ápr. (3)	Máj. (4)	Jún. (5)	Júl. (6)	Aug. (7)	Szept. (8)	
2017	10,1	16,3	20,9	21,0	22,1	15,5	17,65
2018	15,5	19,0	20,1	21,7	23,2	17,1	19,43
30 éves átlag (10)	11,1	16,6	19,4	21,3	20,7	15,8	17,48

Table 2. Monthly mean temperature during the growing season of maize (Debrecen). (1) Year, (2) Monthly mean temperature (°C), (3) April, (4) May, (5) June, (6) July, (7) August, (8) September, (9) Average, (10) 30-year-average

A havi hőmérsékleti értékek mindkét évben meghaladták a sokévi átlagot, de a hőmérséklet szempontjából különösen extrém évjárat volt a 2018. év. Ebben az évben a havi középhőmérsékletek 1,3–4,8 °C-kal, azaz extrém mértékben haladták meg az átlagot. A 2017. évben a különbségek lényegesen mérsékeltebbek voltak (a sokévi átlagot 0,5–2 °C-kal haladták csak meg).

## Eredmények

A tartamkísérleteink eredményei azt bizonyították, hogy a kukorica hibridek termését a trágyázás és a tőszám egyaránt befolyásolta. A két agrotechnikai té-

nyező hatása azonban eltért egymástól: a trágyázás hatása sokkal jelentősebb volt az állománysűrűségénél, mely tények egyrészt a hibridek kedvező trágya-reakcióját, másrészt pedig a töszámsűrítéssel kapcsolatos plasztikus adaptációjukat bizonyították. A 2017. és 2018. év időjárása eltért egymástól: a 2017. év átlagos őszi-téli csapadékú, kedvező vegetációbeli vízellátású és az átlagosnál valamivel melegebb hasznos hőösszeggel volt jellemezhető, míg a 2018. évet teljesen feltöltött induló tavaszi vízkészlet, szélsőséges csapadékeloszlású és extrém meleg vegetációs időszak jellemezte. A terméseredmények ennek ellenére nem különböztek jelentős mértékben a két évjáratban. A vizsgált hibridek termése 2017. évben 10,2–16,7 t/ha, a 2018. évben 9,3–15,9 t/ha között változott genotípustól, műtrágya adagtól és töszámtól függően. A 2017. évi, de különösen a 2018. évi kedvező termésszinthez nagymértékben hozzájárult a kísérlet csernozjom talajának kiváló vízgazdálkodása, valamint az őszi-téli-kora tavaszi hónapok (2018. év) csapadékának talajban raktározott készlete. Ez a 2018. év vegetációs periódusának extrém magas hőösszegének és relatíve kedvezőtlen csapadékeloszlásának a mérséklését eredményezte. A magas termésszinthez hozzájárult a kedvező elővetemény (őszi búza), valamint az optimálishoz közeli agrotechnika is. Ennek megfelelően a vizsgálati két év között a terméskülönbség mintegy egy t/ha volt (3–5. táblázat).

A vizsgált hibrideknél mindkét évben magas termésszintet értünk el a tartamkísérleteinkben. A hibridek átlagában a kontroll termés 10,8–11,0 t/ha (2017. év), illetve 10,2–12,1 t/ha (2018. év) között változott (6. táblázat). Ez a magas kontroll termésszint a kísérlet csernozjom talajának jelentős tápanyagkészletét és kitűnő természetes tápanyagszolgáltató képességét bizonyította. A műtrágyázás hatására jelentős terméstöbbleteket kaptunk hasonlóan Nagy (1995), Sárvári (1995), Árendás (2006), Pepó (2006), Széll *et al.* (2010) kísérleteihez. A hibridek átlagában a műtrágyázás termésnövelő hatása 2017. évben 3314 kg/ha (65 ezer/ha), 3854 kg/ha (75 ezer/ha) és 5380 kg/ha (85 ezer/ha) volt, míg 2018. évben ezek az értékek 2878 kg/ha, 2449 kg/ha és 3109 kg/ha voltak. Az egyes hibrideknél a műtrágyázás termésnövelő hatása eltérő volt, azaz hibrid-specifikus trágyahatást lehetett megállapítani. A trágyázás hibridspecifikus hatását bizonyította korábbi kísérleteiben Sárvári (1984) és Pepó (2001). A 2017. évben és 2018. évben is relatíve legjobb tápanyagreakciót az Armagnac hibrid adta. 2017. évben a trágyázás hatására kapott terméstöbblet 4,4–6,1 t/ha, 2018. évben pedig 3,5–4,4 t/ha volt.

3. táblázat. A trágyázás, tőszám és évjárat hatása a kukorica hibridek termésére (65 000 növény/ha) (Debrecen, 2017–2018)

Hibrid (1)	Mtr (2)	2017		2018	
		Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)	Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)
Sushi	∅	11 123	0	9 298	0
	1	13 771	2648	11 422	2124
	2	13 459	2336	11 584	2286
	3	13 427	2304	11 868	2570
	4	14 003	2880	12 680	3382
	5	14 856	3733	10 038	740
Loupiac	∅	10 609	0	10 648	0
	1	13 493	2884	12 119	1471
	2	13 081	2472	12 338	1690
	3	12 192	1583	12 582	1934
	4	14 080	3471	12 680	2032
	5	14 216	3607	12 241	1593
Armagnac	∅	11 183	0	10 436	0
	1	13 339	2156	13 119	2683
	2	14 079	2896	13 476	3040
	3	13 320	2137	13 411	2975
	4	15 225	4042	14 419	3983
	5	15 593	4410	12 745	2309
Fornad	∅	10 246	0	10 534	0
	1	12 780	2534	11 910	1376
	2	12 208	1962	12 143	1609
	3	12 312	2066	12 990	2456
	4	13 106	2860	12 647	2113
	5	12 072	1826	10 745	211
SzD <sub>5%</sub> (5)		1472		1592	

Table 3. The effect of fertilisation, plant density and crop year on the yield of maize hybrids (65 000 plants per ha) (Debrecen, 2017–2018). (1) Hybrid, (2) Fertilisation, (3) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (4) Yield surplus (kg ha<sup>-1</sup>), (5) LSD<sub>5%</sub>

4. táblázat. A trágyázás, tőszám és évjárat hatása a kukorica hibridek termésére  
(75 000 növény/ha) (Debrecen, 2017–2018)

Hibrid (1)	Mtr (2)	2017		2018	
		Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)	Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)
Sushi	∅	11 957	0	10 924	0
	1	14 008	2051	12 440	1516
	2	14 467	2510	12 257	1333
	3	13 491	1534	12 485	1561
	4	14 762	2805	13 801	2877
	5	13 628	1671	12 192	1268
Loupiac	∅	10 214	0	11 753	0
	1	13 147	2933	13 753	2000
	2	13 759	3545	13 671	1918
	3	14 125	3911	13 899	2146
	4	14 107	3893	14 370	2617
	5	14 508	4294	12 761	1008
Armagnac	∅	10 873	0	11 347	0
	1	13 716	2837	14 010	2663
	2	13 747	2868	13 948	2601
	3	13 417	2538	13 899	2552
	4	16 030	5151	14 891	3544
	5	15 654	4775	12 696	1349
Fornad	∅	10 902	0	11 907	0
	1	13 039	2137	12 517	610
	2	13 968	3066	13 021	1114
	3	13 600	2698	13 905	1998
	4	14 470	3568	12 664	757
	5	14 205	3303	12 062	155
SzD <sub>5%</sub> (5)		1603		1296	

Table 4. The effect of fertilisation, plant density and crop year on the yield of maize hybrids (75 000 plants per ha) (Debrecen, 2017–2018). (1) Hybrid, (2) Fertilisation, (3) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (4) Yield surplus (kg ha<sup>-1</sup>), (5) LSD<sub>5%</sub>

5. táblázat. A trágyázás, tőszám és évjárat hatása a kukorica hibridek termésére (85 000 növény/ha) (Debrecen, 2017–2018)

Hibrid (1)	Mtr (2)	2017		2018	
		Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)	Termés (kg/ha) (3)	Terméstöbblet (kg/ha) (4)
Sushi	∅	10 958	0	10 875	0
	1	13 476	2518	12 690	1815
	2	13 930	2972	12 452	1577
	3	13 106	2148	12 989	2114
	4	14 170	3212	14 582	3707
	5	15 439	4481	12 322	1447
Loupiac	∅	11 238	0	12 810	0
	1	13 670	2432	14 510	1700
	2	15 156	3918	14 291	1481
	3	15 047	3809	14 712	1902
	4	15 855	4617	14 976	2166
	5	16 323	5085	12 907	97
Armagnac	∅	10 516	0	11 206	0
	1	14 423	3907	14 547	3341
	2	14 489	3973	14 810	3604
	3	14 260	3744	15 290	4084
	4	16 162	5646	15 606	4400
	5	16 610	6094	14 208	3002
Fornad	∅	10 823	0	13 574	0
	1	13 657	2834	14 972	1398
	2	15 379	4556	14 322	748
	3	15 433	4610	15 915	2341
	4	16 273	5450	15 736	2162
	5	16 682	5859	14 647	1073
SzD <sub>5%</sub> (5)		1508		1396	

Table 5. The effect of fertilisation, plant density and crop year on the yield of maize hybrids (85 000 plants per ha) (Debrecen, 2017–2018). (1) Hybrid, (2) Fertilisation, (3) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (4) Yield surplus (kg ha<sup>-1</sup>), (5) LSD<sub>5%</sub>



6. táblázat. A műtrágyázás és tőszám interaktív hatása a kukoricánál (hibridek átlaga) (Debrecen, 2017–2018)

Mtr (1)	Termés (kg/ha) (2)					
	2017			2018		
	65 ezer/ha (3)	75 ezer/ha (4)	85 ezer/ha (5)	65 ezer/ha (3)	75 ezer/ha (4)	85 ezer/ha (5)
∅	10 790	10 988	10 884	10 229	11 483	12 116
1	13 346	13 473	13 807	12 143	13 180	14 180
2	13 207	13 985	14 739	12 385	13 224	13 969
3	12 813	13 658	14 462	12 713	13 547	14 727
4		+3854*		+2878*	+2449*	+3109*
	14 104	14 842	15 615	13 107	13 932	15 225
5		+3394*	+5380*			
	14 184	14 499	16 264	11 442	12 428	13 521

Megjegyzés: \*terméstöbblet

Table 6. The interactive effect of fertilisation and plant density on maize (averaged over the examined hybrids) (Debrecen, 2017–2018). (1) Fertilisation, (2) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) 65 thousand plants per ha, (4) 75 thousand plants per ha, (5) 85 thousand plants per ha, Note: \*yield surplus

A vizsgált többi hibridnél ennél kisebb trágyázási terméstöbbleteket kaptunk, de a különbségek nem voltak szignifikánsak.

Az állománysűrűség terméseredményre gyakorolt hatása a trágyázásnál mérsékeltebb volt a kukorica hibrideknél (3–5. táblázat). Ez részben a hibridek jó tőszám-plaszticitására utal, részben pedig arra, hogy a kísérletben relatíve magas állománysűrűséggel (65–75–85 ezer/ha) dolgoztunk. Mindkét évben a legnagyobb termést a legnagyobb, azaz a 85 ezer/ha tőszámnál kaptuk a vizsgált hibrideknél. Számos külföldi és hazai szerzőhöz (Nagy 1989, Russel 1991, Sárvári 1995, Pepó et al. 2006, Hoshang 2012) hasonlóan mindkét évben a legnagyobb, 85 ezer/ha állománysűrűségnél adták a termésmaximumukat a hibridek (7. táblázat). A hibridek átlagában a tőszám növelése 65 ezer/ha-ról 85 ezer/ha növényszámra eltérő mértékű termésvnövekedést adott tápanyagellátástól függően. Mindkét évben a kontroll kezelésben a tőszám növelése kisebb terméstöbbletet eredményezett, mint optimális műtrágyázás esetén.

7. táblázat. A tőszám hatása a kukorica termésére (hibridek átlaga)  
(Debrecen, 2017–2018)

Tőszám (ezer/ha) (1)	Termés (kg/ha) (2)			
	2017		2018	
	Kontroll (3)	N <sub>opt</sub> +PK	Kontroll (3)	N <sub>opt</sub> +PK
65	10 790	14 184	10 229	13 107
75	+198*	+658*	+1254*	+825*
	10 988	14 842	11 483	13 932
85	-104*	+1422*	+633*	+1293
	10 884	16 264	12 116	15 225

Megjegyzés: \*terméstöbblet

Table 7. The interactive effect of plant density on maize (averaged over the examined hybrids) (Debrecen, 2017–2018). (1) Plant density (thousand plants per ha), (2) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) Control, Note: \*yield surplus

Russel (1991), Nagy (1996), Pepó és Vad (2017) vizsgálataival összhangban azt tapasztaltuk, hogy szoros interaktív hatást lehetett megállapítani a tápanyag-ellátás és a tőszám között. A 2017. évben a kontroll kezelésben a hibridek termése a tőszám növelésével minimális mértékben (0–0,5 t/ha) növekedett, míg az N<sub>opt</sub>+PK kezelésben a növekedés 0,6–4,6 t/ha terméstöbblet volt (1. ábra). A hibridek terméstöbblete a tőszám változására a 2018. évben 0,8–3,1 t/ha volt a kontroll kezelésben, míg az N<sub>opt</sub>+PK kezelésben 1,2–2,9 t/ha volt hibridtől függően.

A kísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy a kukorica hibridek a maximális termésük realizálásához jelentős mennyiségű tápanyagot igényelnek. A hibridek N<sub>opt</sub>+PK dózisa 2017. évben N=120–150 kg/ha+PK intervallumban változott, míg 2018. évben ez N=90–120 kg/ha+PK értéket mutatott (2. ábra). A vizsgált hibridek közül a Fornad mutatott kedvező műtrágya hasznosítást. 2017. évben a 13,1–16,6 t/ha maximális termést (tőszámtól függően) az N=120–150 kg/ha+PK műtrágya adagnál, míg a 2018. évben 13,0–16,0 t/ha termést az N=90 kg/ha+PK kezelésben adta (a többi hibrid 2017-ben N=150+PK, 2018-ban N=120+PK kezelésben).

1. ábra. A trágyázás és állománysűrűség interaktív hatása eltérő genotípusú kukorica hibrideknél (csernozjom talaj) (Debrecen, 2017–2018)

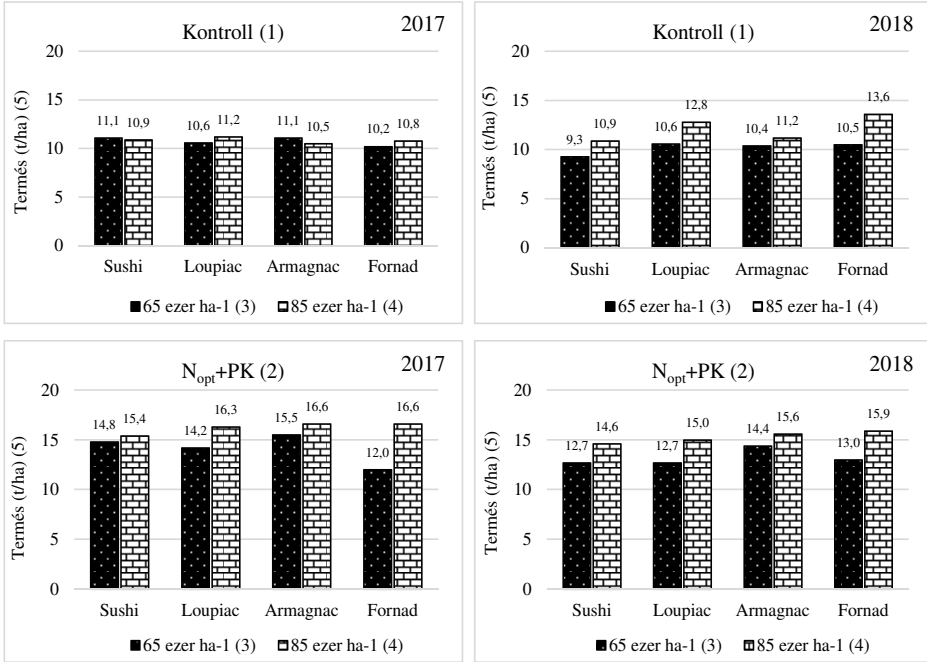


Figure 1. The interactive effect of fertilisation and plant density on maize hybrids with different genotype (chernozem soil) (Debrecen, 2017–2018). (1) Control, (2) N<sub>opt</sub>+PK treatment, (3) 65 thousand plant per ha, (4) 85 thousand plants per ha, (5) Yield (t ha<sup>-1</sup>)

A hibridek terméseredményei között relatíve mérsékelt különbségeket lehetett megállapítani mindkét évben. A maximális termések 2017. évben 15,4–16,7 t/ha (a különbség 1,3 t/ha), 2018. évben pedig 14,6–15,9 t/ha (a különbség 1,3 t/ha) között változtak (2. ábra). Mindkét évben a Fornad hibrid adta a legnagyobb termést.

2. ábra. A kukorica hibridek optimális nitrogén (+PK) adagja eltérő tőszámnál (csernozjom talaj) (Debrecen, 2017–2018)

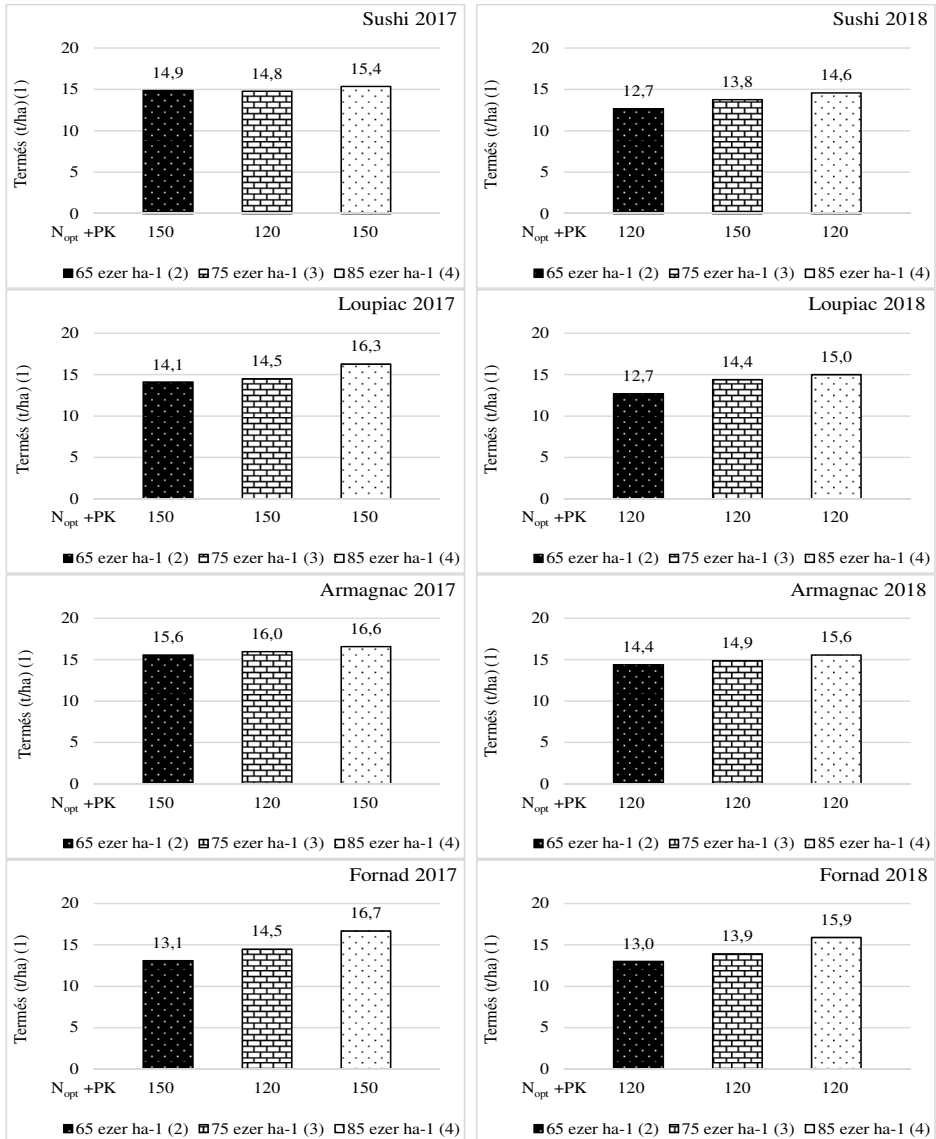


Figure 2. Optimal nitrogen (+PK) dose of maize hybrids in the case of different plant density (chernozem soil) (Debrecen, 2017–2018). (1) Yield ( $t\ ha^{-1}$ ), (2) 65 thousand plant per ha, (3) 75 thousand plants per ha, (4) 85 thousand plants per ha

## Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a GINOP-2.2.1-15-2016-00001 számú projekt támogatta.

## Irodalom

- Árendás T.*: 2006. Növénytéplálás új szemlélettel. Gyakorlati Agrofórum. 17. 12M: 8–10.
- Berzsenyi Z.–Lap D. Q.*: 2005. Műtrágyázás x növényszám interakció hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 54. 1–2: 35–53.
- Carlone, M. R.–Russel, W. A.*: 1987. Response to plant densities and N levels for four maize cultivars from different ears of breeding. Crop Science. 27: 465–470.
- D’Haene, K.–Magyar, M.–De Neve, A.–Pálmai, O.–Nagy, J.–Németh, T.–Hofman, G.*: 2007. Nitrogen and phosphorus balances of Hungarian farms. European Journal of Agronomy. 3: 224–234.
- Gozübenli, H.–Klinić, M.–Sener, O.–Konuskan, O.*: 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. Asian Journal of Plant Sciences. 3. 2: 203–206.
- Győrffy B.*: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. Agrártudományi Közlemények. 35: 239–266.
- Hoshang, R.*: 2012. Effect of plant density and nitrogen rates on morphological characteristic grain maize. Journal of Basic and Applied Scientific Research. 2. 5: 4680–4683.
- Izsáki, Z.*: 2007. N and P impact on the yield of maize in a long-term trial. Cereal Res. Commun. 35. 4: 1701–1711.
- Körschens, M.*: 2006. The importance of long-term experiments for soil science and environmental research – a review. Plant Soil Environ. (special issue). 52: 1–8
- Nagy, J.*: 1996. Effects of tillage, fertilization, plant density and irrigation on maize (*Zea mays* L.) yields. Acta Agronomica Hungarica. 196. 2–3: 189–202.
- Nagy J.*: 1989. A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukoricahibridek termésére. DATE Tudományos Közlemények. 28: 437–452.
- Nagy J.*: 2005. 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában. [In: Nagy J. (szerk.) Kukoricakonzorcium – Kukorica hibridek adaptációs képessége és terméshibiztonsága.] Debrecen. 8–53.
- Pepó P.*: 2001. A genotípus és a vetésváltás szerepe a kukorica tápanyagellátásában csernozjom talajon. Növénytermelés. 50. 2–3: 189–202.
- Pepó P.*: 2006. Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. Gyakorlati Agrofórum Extra. 13: 11–17.

- Pepó, P.-Vad, A.-Berényi, S.:* 2006. Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 1253–1256.
- Pepó P.:* 2009. A kukorica (*Zea mays* L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. *Növénytermelés.* 58. 3–4: 53–66.
- Pepó, P.-Murányi, E.:* 2014. Plant density impact on grain yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids on chernozem soil of the Eastern Hungary. *Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences.* 1. 2: 95–100.
- Pepó P.-Vad A.:* 2017. Hibridspecifikus trágyázás jelentősége a kukorica termesztésben. *Agrárium.* 11–12.
- Russel, W. A.:* 1991. Genetic improvement of maize yields. *Adv. Agron.* 46: 245–298.
- Sárvári M.:* 1984. Különböző kukorica hibridek tápanyag-reakciója réti talajon. *Növénytermelés.* 33. 6: 549–558.
- Sárvári M.:* 1995. A tőszám szerepe a fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiában. *Növénytermelés.* 44. 3: 261–270.
- Szell E.-Búza L.-né-Győri Z.:* 2010. Négy különböző talajtípuson végzett kukorica műtrágyázási kísérletek eredményei. *Növénytermelés.* 59. 4: 41–61.
- Vad, A.-Zsombik, L.-Szabó, A.-Pepó, P.:* 2007. Critical crop management factors in sustainable maize (*Zea mays* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 1253–1256.
- Vári E.-Pepó P.:* 2011. Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica agronómiai tulajdonságaira tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 60. 4: 115–130.
- Widicombe, D. W.-Thelen, D. K.:* 2002. Row with and plant density effects on corn grain production in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal.* 94: 1020–1023.

A szerző levelezési címe – Address of the author :

Dr. Pepó Péter  
Debreceni Egyetem MÉK  
Növénytudományi Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
pepopeter@agr.unideb.hu

**SZEMLE****Review****A durumbúza eredete és taxonómiai besorolása**

VIDA GYULA

Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont,  
Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

A tetraploid *Triticum* fajok termesztése az őskorban megkezdődött. Hosszú évezredek során szerencsés spontán fajkereszteződések és mutációs események sorozata kellett ahhoz, hogy a napjainkban is ismert durumbúza megjelenhessen a domesztikált növényfajok között és elterjedhessen – az Antarktisz kivéve – az összes kontinensen. A durumbúza jelenleg a második legnagyobb területen termesztett *Triticum* faj, melyből a 2016–2018 közötti időszakban 37–40,2 millió tonna terményt állítottak elő világszerte.

A búzafajok taxonómiai besorolása az elmúlt évszázadokban jelentős változásokon ment keresztül. E rövid áttekintés tartalmazza azokat a fontosabb lépéseket, melyek végül a jelenleg használt rendszertanok kialakulásához vezettek.

**Kulcsszavak:** *Triticum turgidum* ssp. *durum*, domesztikáció, archaeobotanika, rendszertan

## Origin and taxonomy of durum wheat

GY. VIDA

Agricultural Institute, Centre for Agricultural Research,  
Hungarian Academy of Sciences, Martonvásár

### Summary

The production of tetraploid *Triticum* species began in prehistoric times. During many millennia, a series of lucky spontaneous crossings and mutation events took place to produce durum wheat, a domesticated crop species, which could spread to all continents except Antarctica. Durum wheat is currently the second economically most important *Triticum* species, producing 37–40.2 million tonnes worldwide in the period of 2016–2018.

The taxonomic classification of wheat species has undergone significant changes over the past centuries. This brief overview presents the most important steps that led to the current classification systems.

**Key words:** *Triticum turgidum* ssp. *durum*, domestication, archaeobotany, classification systems

## Происхождение пшеницы дурум и её таксономическая классификация

Д. ВИДА

Венгерская Академия Наук Исследовательский Центр Аграрных Наук,  
Институт Сельского Хозяйства, Мартонвашар

### Резюме

Выращивание сортов тетраплоида *Triticum* началось в древние времена. В течении многих тысячелетий надо было произойти ряду спонтанных и удачных перекрещиваний сорта и его мутаций, чтобы в наши дни могла появиться и распространиться



isznvnta pshnca durnm sredi odomashnennh sorov rastenyh – krome Antarktidy – na vseh kontinentakh. V nastoyashche vrema pshnca durnm yavlyetsya vtorym po schetu sortom *Triticum*, vyrashchivayemym na samoy bolshoy territorii, urozhay kotoroy sostavil vo vs'em mire v period 2016–2018 gody 37–40,2 millionov tonn.

Taksonomicheskaya klassifikatsiya sortov pshnцы za poslednie stolyetia preterpela znachitelnye izmeneniya. Etoť kratkiy obzor sodержit vayneyshie shagi, kotorye v rezulťtate privedli k formirovaniyu primenyemykh i v nastoyashche vrema sistematik.

**Ключевые слова:** *Triticum turgidum* ssp. *durum*, odomashnevanie, arheobotanika, sistematika

### A durumbúza eredete

A búzafajok létrejötté a természet és az emberiség nagy rejtélyei közé tartozik. Szinte elképzelhetetlen, hogyan alakulhattak ki a Termékeny Félhold területén élő fűfajokból spontán kereszteződések útján a ma ismert csodálatos kalászosok, melyek napjainkban a legnagyobb területen vetett növények csoportját alkotják. Az idők folyamán a természetett fajokból eltűnt a kalászsorsó törékenysége és a dormanciára való hajlam, a szemek szabadon csépelhetővé váltak (csupaszz jelleg), a szemméret pedig jelentősen megnőtt (*Salamini et al.* 2002).

Molekuláris kormeghatározás alapján az első fűfajok 100 millió évvel jelentettek meg a Földön, 10–14 millió éve vált el az árpa fajok és a többi kalászos faj törzsfelődése és három millió évvel ezelőtti időpontra tehető a *Triticum* fajok őseinek keletkezése (*Murphy* 2007). Az első BBAA genommal rendelkező tetraploid búzafaj „mindössze” 500 000 éves (*Levy és Feldman* 2004). Az emberiség és a tetraploid búzafajok közös története azonban még ennél is sokkal később kezdődött. A Galileai-tenger partjáról, az Ohalo II ásatási területről előkerült leletek alapján a durumbúza őse, a *Triticum dicocoides* már 23 000 évvel (kalibrált radiokarbon kormeghatározás alapján; *Weiss et al.* 2004) ezelőtt táplálékforrásként szolgált a vadászó-gyűjtögető életmódot folytató emberek számára („hagyományos” <sup>14</sup>C vizsgálat alapján ez az időpont 19 000 évvel ezelőttre datálható; *Kislev et al.* 1992). A búzafajok domesztikációja feltételezhetően 12 000–7600 évvel ezelőtt mehetett végbe. A növénytermesztés kezdetének időszakából származó leletekben még a törékeny kalászsorsójú változatok

találhatók meg, melyeket lépésről lépésre váltottak fel a szilárd kalászsorsóval rendelkező fajok. Kezdetben még éretlen állapotban gyűjtötték be a termést – ezért nem jelentett gondot a kalászsorsó törékenysége – és megközelítőleg 10 000 évvel ezelőttre eredeztethető a gabona érett állapotban történő betakarítása, ami már feltételezte az agronómiailag előnyösebb változatok termesztésbe vonását, a domesztikáció elindulását (Hillman és Davies 1990). Bar-Yosef (1998) a szilárd kalászsorsó megjelenését a Közel-Kelet Levante régiójában a késői kőkorszak időszakára (kb. 9000 évvel ezelőtt) teszi. A szilárd kalászsorsójú változatok kialakulása és elterjedése évszázadokon át tarthatott, ezen időszak alatt a törékeny kalászsorsójú változattal keverten termesztették.

A termesztésbe vonás folyamata közel egyidőben, a paleolitikum késői és a neolitikum korai szakaszában, négy fajjal kezdődhetett el (Feldman 2001): 1. *T. monococcum* subsp. *aegilopoides* (subsp. *boeoticum*; Heun et al. 1997); 2. *T. turgidum* subsp. *dicoccoides*; 3. *T. timofeevii* subsp. *armeniacum*; 4. *T. urartu*. Míg az első három fajból termesztett, szilárd kalászsorsóval rendelkező változatok jöttek létre (alakor, tönke és *T. timofeevii* subsp. *timofeevii* sorrendben), addig a *T. urartu* faj mindvégig megtartotta az agronómiailag kedvezőtlen jellegét, a törékeny kalászsorsót, és nem is terjedt el.

A jelenlegi ismeretek alapján az első termesztésbe vont gabonaféle az alakor lehetett (*T. monococcum*), maradványai már a késő-őskőkorszakból (epi-paleolitikum, 12 500 évvel ezelőtt) származó lelőhelyeken megtalálhatók. A feltételezést (Harlan és Zohary 1966), miszerint az alakor a *T. monococcum* subsp. *boeoticum* alfajból jöhetett létre molekuláris vizsgálatok eredményei is alátámasztották. AFLP markerekkel bizonyították (Heun et al. 1997), hogy a termesztett faj a dél-törökországi Karaca Dağ hegységben élő vad alfaj egyedivel áll legközelebbi rokonságban, így feltételezhetően itt és ebből a populációból történt meg a faj domesztikációja.

A következő jelentős lépést a búzafajok evolúciójában a tetraploid (BBAA genom) tönke (*T. turgidum* subsp. *dicoccum*) faj megjelenése jelentette. A korai neolitikum időszakából származó növényi maradványok alapján feltételezhető, hogy a kor emberei a vad tönkét (*T. turgidum* subsp. *dicoccoides*) még csak lokálisan és kis mennyiségben gyűjtögették (Feldman 2001). Ez a faj hosszú évezredekig ismeretlen maradt a tudomány számára. Az első rövid közlemény a vad tönkéről egy tudományos ülés jegyzőkönyvéből származik, melyen Körnicke (1889) egy Kotschy által 1855-ben az Antilibanon hegységben, 4000 láb magasságban begyűjtött növényt *T. vulgare* Vill. var. *dicoccoides*

fajként, mint a kultúr búzafajták őseit mutatta be. További hosszú évek teltek el még addig, míg természetes élőhelyén – a Hermon-hegy környékén – ismét sikerült a fajt megtalálni (*Aaronsohn és Scweinfurth* 1906, *Aaronsohn* 1910).

A legkorábbi, már bizonyíthatóan termesztésbe vont tönke leletek (*Kislev* 1984) 10 800 évvel ezelőtti időszakból származnak (Tell Aswad; *Zeist és Bakker-Heeres* 1985). Megközelítőleg kétezer évvel később e fajt már kiterjedt területen termesztették. A Kerámia Előtti Neolitikus Kultúra B (angol szakirodalomban Pre-Pottery Neolithic B, rövidítése PPNB) szakaszában (i.e. 7300–5900) a közel-keleten mindenütt megtalálható volt (*Helmer et al.* 1998). A tönke volt az ősi Egyiptom legfontosabb gabonája (*Helbaek* 1956), de a világ több régiójában mind a mai napig termesztik.

Az első csépelhető tetraploid változat is ugyanebben az időszakban jelenhetett meg. Szíriában (Tell Aswad és Ramad; *Zeist és Bakker-Heeres* 1985), valamint Dél-Anatóliában végzett ásatások (*Hillman* 1996) során 8200–8900 évvel ezelőtti korból származó *T. turgidum* subsp. *parvicoccum* leletek találtak. Ez a faj napjainkra már kihalt, de jelenleg ezt tartják az első csupasz szemű kalászosnak (*Kislev* 1980). Egykor a Közel-Keleten és a Balkán-félszigeten termesztették, az ókori görögöknél egészen i.e. 300-ig megtalálható volt. Az e kora datálható leletek alapján a tönkével együtt fordult elő, azonban kérdéses, hogy keverékként, vagy egymástól elkülönítve termesztették (*Kislev* 1981).

A durumbúza legkorábbi leleteiről *Hillman* (1978) számolt be, aki a törökországi Can Hassan III ásatási terület (i.e. 4500–5500) legfelső két rétegéből származó mintákban azonosított durumbúza kalászorsó maradványokat. Mindössze az i.e. III. évezred közepére terjedt el nagyobb területen, ezután viszont rövid időn belül leváltotta az agronómiailag kedvezőtlenebb tulajdonságú tönkét. A faj kialakulásának magyarázatára két teória létezik. *Morris és Sears* (1967) szerint tönkéből, több egymást követő mutáció következményeként jöhetett létre. *Kislev* (1980) ennél egyszerűbb eredetet valószínűsít, szerinte a tönke és a *T. parvicoccum* kereszteződéséből alakult ki ez a nagy szemű, szabadon csépelhető gabonaféle. A faj létrejötte és elterjedésének időpontja közötti hosszú idő feltehetően annak következménye, hogy a *T. parvicoccum* jobban alkalmazkodott a szemiarid éghajlati körülményekhez a durumbúzánál, így az újabb faj nehezen tudta kiszorítani a termesztésből (*Kislev* 1980). A szabadon csépelhető búzafajok előfordulását az i.e. 8000–2900 közötti időszakból származó ásatási leletekben *Majer* (1996) összegezte. A Kaukázustól a Pireneusi-félszigetig terjedő területen mindenhol megtalálható volt a búza csépelhető

változata, azonban a tetraploid és a hexaploid fajok elkülönítése az elszenesedett maradványok alapján még nem volt elvégezhető. *Schlumberbaum et al.* (1998) morfológiai és DNS-szintű vizsgálatokkal egyértelműen bizonyította, hogy a két ploidszintű faj már i.e. 4000 évvel együttesen fordult elő a jelenlegi Svájc területén. Morfológiai tulajdonságai alapján azonban az e korból származó csépelhető tetraploid faj még különbözött a durumbúzától (*Maier* 1996).

A durumbúza a mediterrán térségben kiemelt fontosságú gabonanövényvé vált (*Zohary et al.* 2012), azonban terjedésének útvonaláról és a fontosabb lépések időpontjáról nagyon kevés információ áll rendelkezésre. *Zohary* (1982) az Ótestamentumban megjelenő búzát a durumbúzával azonosítja, eszerint az i.e. I. évezredben a Közel-Keleten már termesztették. Egyiptomba Nagy Sándor hódítását követően jutott el – így a hellenisztikus kultúrában már i.e. IV. században elterjedt növényfaj volt –, és a Ptolemaioszok uralkodása alatt teljesen kiszorította a pelyvás tönkét a termesztésből (*Bowman* 1996). Nagyon kevés információ áll rendelkezésre azzal kapcsolatban, hogy a durumbúza hogyan, milyen úton hódította meg a Földközi-tenger mellett elhelyezkedő területeket. Elterjedésének ütemére a belőle készített tészta régi iratokban fellelhető említése alapján lehet következtetni (*Davidson* 2014). Az i.sz. V. században keletkezett Jeruzsalmi Talmudban a vízben kifőzött tésztát a zsidó étkezési törvényeknek megfelelő ételként említik. Arab nyelvű szövegekben már a X. században írnak az itriyah nevű ételről, ami még napjainkban is megvásárolható méltelt száraztészta. Az arab földrajztudós, Al-Idrisi a XII. századi beszámolójában arról írt, hogy a szicíliai Palermo városában élő emberek hosszúkás alakú, *trii*-nek nevezett tésztát készítették. Az európai kontinensen a durumbúzából készült tészta első említése 1279-ből egy katona hagyatéki leltárában található meg. Giovanni *Boccaccio* a Dekameronban (1349–1353) ír Bengodiról (Révay József 1961-ben készült fordításában a Haslagok országának Dínom-Dánom vidékéről), ahol a reszelt parmezán hegy tetején élő helyiek „egyebet sem tesznek, mint makarónit és húsos derelyét” (eredi nyelven raviouli) készítenek. Eszerint a durumbúza termesztése és annak feldolgozása a XIII–XIV. századi Itáliában már teljesen elterjedt volt. Franciaországban XVI. Lajos uralkodása idején (1774–1792) jutott el (*Antal et al.* 2005). *Desfontaines* (1798) a durumbúzát Berberföldről származó fajként írta le („*Colitur in Barbaria*”). A XIX. századig Berberföldnek (Barbaria vagy Berberia) Afrika észak-nyugati részét nevezték, amely magában foglalta a jelenlegi Marokkó, Tunézia, Algéria és Líbia Földközi-tenger közelében fekvő területeit (*Halász* 1995). A XIX. század vé-

gére Olaszországban a száraztészta fogyasztása olyan méretet öltött, hogy a helyi alapanyag termesztés már nem volt elegendő. Oroszországból, az Azovi-tenger partján fekvő Taganrog környékéről importáltak nagy mennyiségű és kiváló minőségű durumbúzát (*Davidson* 2014).

A Földközi-tenger medencéjének elfoglalása után a durumbúza a XIX-XX. században új termőterületeket hódított meg több kontinensen. Észak-Amerika kiemelt jelentőségű, hiszen jelenleg a legtöbb durumbúza Kanadában terem (2017-ben 7,8 millió tonna; *International Grain Council* 2018), de az Egyesült Államok is szerepel a legnagyobb termelők listáján. Közép-Amerikában Mexikó, Dél-Amerikában pedig Argentína rendelkezik a legnagyobb vetésterülettel. Ázsiában Kazahsztán és India állít elő 1 millió tonnát meghaladó mennyiséget belőle, de Ausztráliában is félmillió tonna terem (*International Grain Council* cit. *Ranieri* 2015).

A durumbúza hazai meghonosításával kapcsolatos kutatásokat és próbálkozásokat *Szunics* (1986) foglalta össze. Az 1900-as évek végén jelentek meg először közlemények e témában, de csak *Odry* (1929) és *Veneny* (1930) – akik a szovjet hadifogságban ismerkedtek meg a fajjal és termesztésével – számolt be kutatási eredményekről, de ezek gyakorlati hasznosítására nem került sor. Az első, köztermesztésbe is került fajták a Szegedi Gabonakutató Intézetben születtek 1981-ben (*Beke és Barabás* 1981). E fajtákat (GK Basa és GK Minaret) a CIMMYT (Kukorica és Búzakutatói Központ, Mexikó) törökországi intézetéből származó hasadó utópopulációból szelektálták, és fakultatív (járó) életformájúak voltak. Martonvásáron 1982-ben indult el az a durumbúza nemesítési program, melynek célja a hazai teleket jól tűrő és a feldolgozóipar számára megfelelő alapanyagot biztosító őszi fajták előállításának volt (*Szunics et al.* 1998). Első eredményként 1996-ban két honosított (Odmadur 1 és Odmadur 2), valamint két saját nemesítésű durumbúza fajta (Martondur 1 és Martondur 2) részesült állami elismerésben.

A durumbúza napjainkra megtalálta helyét a hazai vetésszerkezetben. Vetésterületének nagysága a *KSH* (2018) adatai szerint jelenleg megközelíti a 45 000 hektárt. A Nemzet Fajtajegyzéken (*NÉBIH* 2018) nyolc hazai nemesítésű őszi és egy külföldi eredetű tavaszi fajta szerepel, de a 2017. évi adatok alapján az országban 16 őszi és hét tavaszi fajta vetőmagjának előállítását végezték (*NÉBIH* 2017).

### A durum búza taxonómiai besorolása

A növények első rendszertani besorolását a görög *Teofrasztoz* készítette, feltehetően i.e. 350 és 287 közötti időszakban [*Hort* (1916) angol fordítása alapján]. Művében a búza több típusát ismerteti, bár az elkülönítésüket egyszerűen a termőhelyük alapján végezte. A *Triticum* nemzetség elnevezése latin eredetű, a triturare = csépelni szóból ered és már az ókori római szerzőktől [*Cato* ≈ i.e. 160 (*Goetz* szerkesztésében 1922), *Varro* ≈ i.e. 36 (*Goetz* szerkesztésében 1912), *Columella* ≈ 62 (*Ash* fordításában 1961)] származó írásokban is ezt a megnevezést használták a szabadon csépellhető búzára. *Dioszkoridész* (I. sz., *Osbaldeston* és *Wood* fordításában 2000) több kalászos fajt is felsorol, köztük a kenyérbúzát (pürosz) és a pelyvás fajokat (*zea*), melyek között különbséget tesz az egy- (alakor) és a kétmagvú (tönke) változat között. *Caius Plinius Secundus* (2009) i.sz. 79-ben írt *Naturalis Historia* című munkájának XVIII. könyvében már vetésidejük alapján csoportosította a gabonaféléket. Művében több búzafajról tesz említést, melyeket a Római Birodalom tartományaiban termesztettek és egyértelműen elkülöníti a pelyvás búzafajokat (*far*) a csupasz szemű változatoktól (*triticum*). A középkorban született, növényrendszertannal foglalkozó művek többsége az ókori szerzők munkáján alapult (pl. *Ruel* 1537), de a botanika tudományának előrehaladtával egyre több és több faj jelent meg a leírásokban. *Hieronimus Bock* (1539) a kenyérbúza (*Weyssen*) mellett már a tönkölyről (*Speltz/Dinckel*) és tönkéről (*Ammel korn*) is említést tesz. *Pena* és *L'Obel* 1571-ben felvázolta a kismagvú gabonafélék rendszertanát, melyben a *Tritici* (beleértve a *Triticum*, *Secale* és *Hordeum* fajokat), valamint a *Zea* nemzetség szerepelt (ide sorolta a pelyvás gabonaféléket, többek között a tönkölyt és tönkét, továbbá az *Avena* fajokat is). Az első hazai vonatkozású közlés 1584-ből származik, ekkor *Carolus Clusius* (Charles de L'Écluse) összeállította a Magyarországon általa megfigyelt fajok listáját és ezek magyar nevét is közölte. A kiadványban mindössze a *Triticum* nemzetségnév és az ehhez rendelt „búza” megnevezés szerepel. Az eddig megjelent művek szinte mindegyike terjedős botanikai leírást tartalmazott az ismertett fajokról, gyakran a termesztésre és gyógyászati célú felhasználásra vonatkozó ismereteket is közölve. *Bauhin* 1596-ban *Phytopinax* címmel megjelent műve (Linné előtt 159 évvel!), valódi áttörést hozott a növényrendszertan tudományában. A nemzetségről szóló rövid ismertető után már kizárólag fajok neveit sorolta fel és közölte a korábban használt megnevezés(ek)e)t is. Könyvében a *Triticum* nemzetség nyolc *Triti-*

*cum* és három *Zea* fajt tartalmazott. A kötetben sajnos nem található képek és a leírás alapján a durumbúzát még nem lehet azonosítani a felsorolt fajok között (a *Triticum aestivum* megnevezés viszont már megjelent!). Bauhin nyomdokain haladva készítette el *Tournefort* (1694) átfogó művét, azonban ő mindössze négy búzafajt különített el, melyek között a durumbúza még mindig nem azonosítható. *Linné* *Species Plantarum* című könyve (1753) meghatározó jelentőségű a növénytaxonómia területén. Nem egyszerűen csak a fajok felsorolását tartalmazza, a botanikai hasonlóságok alapján már a rokonsági viszonyokra is következtethet az olvasó, emellé pedig a részletes morfológiai leírás lehetővé teszi a kötet növényhatározóként történő használatát is. *Linné* a „*Tritica*” nemzetségbe tartozó fajokat egyéves és évelő változatokra osztotta. Az egyévesek között öt fajt nevezett meg: *T. aestivum*, *T. hybernum*, *T. turgidum*, *T. spelta* és *T. monococcum*. A durumbúza őse, a *T. turgidum* megjelenik, de a durumbúza még ekkor sem szerepel a leírt fajok között. A *Triticum durum* elnevezés használata és a durumbúza leírása *René Louich Desfontaines* (1798) francia botanikusnak tulajdonítható. *Körnicker* 1885-ben már e fajnevet használta rendszertani kategóriaként és a faj 24 változatát (varietas) írta le. *Hugo Werner*rel közösen elkészített kétkötetes összefoglaló művük második kötetében *Werner* (1885) már a durumbúza 59 tájfajtáját is felsorolta. Kizárólag a botanikai bélyegek alapján történő csoportosítással eddig lehetett eljutni és a XIX. század végén e rendszertan elkészítése kiemelkedő tudományos teljesítménynek számított. *Linné* munkásságától az 1800-as évek végéig tartó időszakban a búzafajok taxonómiai besorolásában bekövetkezett fontosabb változások *Percival* (1921) könyvében részletesen nyomon követhetők, azonban egy, a durumbúza rendszertani kategorizálásának tekintetében lényeges forrás hiányzik e műből: *Husnot* (1896–1899) elsőként nevezte meg a *T. turgidum* alfajaként („Sous-esp.”) a *T. durum*-ot.

A XX. század második évtizede igazi áttörést hozott a *Triticum* fajok tudományos alapú rendszerezése területén. *Schulz* (1913) részletes morfológiai vizsgálatokat végzett az ismert búzafajokon és ezeket három csoportba sorolta: alakor, tönke és tönköly sorozatba. A sorozatokon belül a fajokat tovább osztályozta, elkülönítette az „ősi” fajokat, valamint a termesztett fajokat pelyvás és csupasz szemű – ezen belül normál és eltorzult – típusokra osztotta (1. ábra). Besorolása alapján a durumbúza a tönke sorozat csupasz szemű faja.

A botanika után az erőteljesen fejlődő új tudományágon, a genetikán volt a fajok közötti kapcsolatok tisztázásának lehetősége és terhe. *Tschermak* (1914)

tesztkeresztezéseket végzett a különböző csoportokba sorolt fajokkal és eredményei teljes mértékben alátámasztották a rokonsági viszonyokat, vagyis az azonos sorozatba tartozó fajokkal létrehozott keresztezések fertilis utódokat eredményeztek. Az eltérő sorozatba tartozó fajok közötti keresztezések utódai sterilek lettek, vagy fertilitásuk csak részleges volt. A durum búza és a tönke keresztezéséből is termékeny utódok születtek, így bizonyította közös leszármazásukat. *Vavilov* (1913, 1915) a búzafajok és kórokozói (levélrozsdá és liszt-harmat) kapcsolatának tanulmányozásával támasztotta alá a korábbi eredményeket. Kísérleteiben levélrozsdával szemben a tönköly sorozat fajai fogékonnyak, a tönke sorozatba tartozók rezisztensek, míg az alakor teljesen immunis volt. A tönköly sorozat tagjai liszt-harmattal is fertőződtek, míg a tönke sorozat fajai és az alakor rezisztensnek bizonyultak (bár a *T. dicoccum* fajt a vizsgálatra használt rasszok egy része képes volt megfertőzni).

1. ábra. A *Triticum* nemzetség fajainak taxonómiai besorolása Schulz (1913) alapján

	Stammart (1)	Kulturformengruppen (2)		
		Spelzweizen (3)	Nacktweizen (4)	
			normal (5)	mißbildet (6)
Einkorn-reihe (7)	<i>Tr. aegilopoides</i>	<i>Tr. monococcum</i>	wohl nicht gezüchtet (8)	wohl nicht gezüchtet (8)
Emmer-reihe (9)	<i>Tr. dicoccoides</i>	<i>Tr. dicoccum</i>	<i>Tr. durum</i> → <i>Tr. turgidum</i> →	<i>Tr. polonicum</i> nicht bekannt (10)
Dinkel-reihe (11)	nicht bekannt (10)	<i>Tr. Spelta</i>	<i>Tr. compactum</i> <i>Tr. vulgare</i> <i>Tr. compactum</i> × <i>vulgare</i> = <i>capitatum</i>	nicht bekannt (10)

Megjegyzés: (1) Ősi faj, (2) Kulturforma csoportok, (3) Pelyvás búzák, (4) Csupas szemű búzák, (5) Szabályos, (6) Deformált, (7) Alakor sorozat, (8) Valószínűleg nem jött létre, (9) Tönke sorozat, (10) Nem ismert, (11) Tönköly sorozat

Figure 1. Taxonomy of species belonging to *Triticum* genus according to Schulz (1913). (1) Stem species, (2) Cultural form groups, (3) Hulled wheats, (4) Naked wheats, (5) Normal, (6) Deformed, (7) Einkorn lineage, (8) Probably not bred, (9) Emmer lineage, (10) Not known, (11) Spelt lineage



A morfológiai, a hibridizációs kísérletekből származó adatok, a gazdanövény-kórokozó kölcsönhatás-, valamint szerológiai vizsgálatok (Zade 1914) eredményei alapján Thellung (1918) szintetizálta az addig összegyűjtött tudást és javaslatot tett a *Triticum* fajok nomenklaturájának egységesítésére. A *Triticum* nemzetség tagjait három fajba sorolta (*T. monococcum*, *T. turgidum*, *T. aestivum*), és a fajokon belül alfajokat nevezett meg. A *T. turgidum* fajba négy alfajt sorolt: I. *dicoccoides*, II. *dicoccum*, III. *sementivum* (ezen belül két rasszt különített el *durum* és *turgidum* megnevezéssel) és IV. *polonicum*. Az általa kialakított rendszertani besorolás már nagyon közel áll a napjainkban elfogadott változatokhoz.

Sakamura 1918-ban megjelent rövid közleménye óta ismert tény, hogy a különböző sorozatba tartozó *Triticum* fajok kromoszómaszáma eltérő és ezek poliploid sort alkotnak. Az alakor sorozat fajai diploidok ( $2n=14$ ), a tönke sorozatot tetraploid ( $2n=28$ ), míg a tönköly sorozatot hexaploid ( $2n=42$ ) fajok alkotják. A durumbúzában 28 kromoszóma jelenlétét azonosította, így ez a megfigyelés is alátámasztotta a faj besorolását a tönke sorozat tagjai közé. Sakamura kérésére (Tsunewaki 2015) Hitoshi Kihara (1924) tanulmányozni kezdte a korábban előállított pentaploid és a további vizsgálatokhoz létrehozott triplod búza fajhibrideket és megállapította, hogy a kromoszómák hetes csoportokra tagolódnak, így a haploid genomot a tönke sorozatban  $2 \times 7 = 14$ , a tönköly sorozatban pedig  $3 \times 7 = 21$  kromoszóma alkotja. A géneket ekkor már A, B és D (Dinkel = tönköly szóból eredeztetve) kromoszómákon lokalizáltként kezelte, de elmélete csak Winkler (1920) munkásságának megismerését követően vált teljessé. Winkler alkotta meg a genom fogalmát, miszerint ez „az a haploid kromoszóma készlet, amely a hozzá tartozó protoplazmával együtt az adott rendszertani egység materiális alapjait jelenti”. Munkájában megjelent az auto- (azonos genomból többszörös mennyiséget tartalmazó, „homogenomisch”) és az allopoliploidia (több különböző genomot tartalmazó, „heterogenomisch”) fogalmának megfelelő kifejezés. Kihara 1930-ban megjelent tanulmányában megállapította, hogy az általa vizsgált tetraploid búzafajok allopoliploidok, genomképletük AABB.

A búzafajok genomi felépítése alapján történő besorolása még évekig nem jelent meg a *Triticum* nemzetség rendszertanáról szóló munkákban (Komarov et al. 1934, Fljakszberger 1935, Jakubziner 1959). Bowden (1959) munkája új alapokra helyezte a búzafajok csoportosítását. Míg a korábbi szer-

zők a részletes elkülönítésre törekedtek, addig Bowden a genetikai és citológiai ismereteket szintetizálva három alcsoportba sorolta a korábban *Triticum* és *Aegilops* nemzetségekbe tartozó fajokat: I. diploidok; II. allopoliploidok; III. egyéb interspecifikus hibridek. A durumbúza az általa kidolgozott rendszer szerint a II. csoport *T. turgidum* L. *emend.* fajon belül egyike lett az AABB genommal rendelkező, természetett allotetraploid búzák nyolc „fajtacsoportjának”. *Morris* és *Sears* (1967) citogenetikai vizsgálatok eredménye alapján tovább pontosították Bowden rendszerét, a *T. turgidum* fajon belül nyolc helyett már csak öt fajtacsoportot különítettek el, melyek egyike a *durum* volt.

A búzafajok taxonómiai besorolása – mint az előbbi fesorolásból kiolvasható – időről időre változott. Jelenleg is több rendszertan létezik, amit a tudományos közösség elfogad. Ezek között van, amelyik részletesebb bontásban tartalmazza a taxonómiai egységeket és létezik olyan is, amelyik csak néhány fajt sorol fel, de közös bennük, hogy valamennyi genomi összetétel alapján csoportosítja a fajokat. A jelenleg is elfogadott rendszertanok közül a legrégebbit és egyben legrészletesebbet *Dorofejev et al.* (1979) állították össze. Eszerint a durumbúza a *Triticum* subgenus *Dicoccooides* Flaksb. szekció Csupaszszemű fajtacsoportjának elkülönített faja, *T. durum* Desf. néven, melyben A<sup>u</sup> és B genomok találhatóak (már ekkor elkülönítette az A<sup>u</sup>-t és az A<sup>b</sup>-t!). *Kimber* és *Sears* (1983) ezzel szemben a végletekig leegyszerűsítették a kategóriákat, az A és B genomot hordozó tertraploid, korábban elkülönítetten kezelt fajok mindegyikét a *T. turgidum* fajba integrálták, még alfajokat sem különítettek el. Így a durumbúza a *T. carthlicum*, *T. dicoccooides*, *T. dicoccon*, *T. polonicum* és a *T. turgidum* fajjal együtt azonos fajba került. *Löve* (1984), annak ellenére, hogy a genomi összetételnél feltüntette az A és B genomot is, a durumbúzát a *Gigachilon polonicum* (L.) *Seidl* alfajaként, ssp. *durum* (Desf.) Á. Löve néven írta le. *Mac Key* (1988) genetikai, citológiai és taxokémiai információk alapján építette fel rendszerét, melyben *T. turgidum* L. *emend.* *Thell* ssp. *turgidum* conv. *durum* (Desf.) Mk. megnevezést használt a durumbúzára. Az 1994-ben *van Slageren* által összeállított rendszertan napjainkban talán a leginkább elterjedt változat, eszerint a durumbúza *T. turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn., a genom típusa: BBAA. Ezt a rendszertani változtatást *Mac Key* (2005) is elfogadta és néhány fajjal kiegészítve, de a korábbi neveket megtartva adta közre a *Triticum* L. nemzetség felosztását. Publikációjában a durumbúza elnevezése: *T. turgidum* (L.) *Thell* ssp. *durum* (Desf.) Husn., genomképlete BB.AA. *Goncharov et al.* (2009) *Dorofejev et al.* (1979) által kialakított taxonokat

használva építette fel új rendszerét. Az A<sup>u</sup> és az A<sup>b</sup> genomot hordozó diploid fajokat a *Monococcon* Dum. szekcióban egyesítette, néhány fajjal bővítette a listát, de a *Dicoccoides* Flaksb. szekcióból mindössze a *T. jakubzineri* fajt távolította el. Így a durumbúzát továbbra is *T. durum* Desf. fajnéven, és BA<sup>u</sup> genomképlettel írta le. A jelenleg legelterjedtebben használt osztályozási rendszereket és ezek összehasonlítását a Wheat Genetic and Genomic Resources Center (WGRC 2018) honlapján található 2. ábra tartalmazza.

A korántsem teljes felsorolásból kiolvasható, hogy a *Triticum* fajok taxonómia besorolása nem egységes és várható, hogy a jövőben még több változás is történhet ezen a területen. A változtatásokat a genomvizsgálatra alkalmazott módszerek fejlődése is indokolhatja. Talán már a közeljövőben szekvencia szinten ismertté válhat valamennyi rokon faj genomja, ami új alapokra helyezheti a besorolást. Ez a folyamat a kenyérbúzánál már elkezdődött. Luo *et al.* 2017-ben jelentették be, hogy elkészült a D genom donorjaként ismert *Aegilops tauschii* genomjának szekvenálása. A Nemzetközi Búza Genom Szekvenálási Konzorcium (IWGSC) 2018-ban ismertette a búza teljes mértékben annotált referencia genomját (Appels *et al.* 2018). Az A<sup>u</sup> és a B kromoszómákra vonatkozó információk a tetraploid fajokban, így a durumbúzában is hozzájárulhatnak a genetikai szabályozás jobb megértése mellett a rokonsági viszonyok pontosításához is.

Tsunewaki *et al.* (1976) eredményeinek közzlése óta ismert, hogy a durumbúza sejtjeinek citoplazmája a B genom donor fajtától származik, továbbá Dvorak *et al.* (1988) bizonyította, hogy a durumbúza A genomja valóban *T. urartu* eredetű. Ezek alapján a durumbúza genomjának képlete: BBA<sup>u</sup>A<sup>u</sup>.

2. ábra. A jelenleg leginkább elfogadott *Triticum* rendszertanok összehasonlítása (WGRC 2018)

Genom (1)	Rendszertan (2)			
	Dorofejev et al. 1979	Mac Key 1988	van Slageren 1994	Kimber és Sears 1983
A <sup>u</sup>	<i>T. urartu</i>	<i>T. urartu</i>	<i>T. urartu</i>	<i>T. monococcum</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>boeoticum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>aegilopoides</i>	<i>T. monococcum</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	<i>T. monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	<i>T. monococcum</i>
A <sup>b</sup>	<i>T. sinskajae</i>	—	—	—
BA	<i>T. aethiopicum</i>	—	—	—
BA	<i>T. carthlicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>carthlicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>carthlicum</i>	<i>T. turgidum</i>
BA	<i>T. dicoccoides</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccoides</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccoides</i>	<i>T. turgidum</i>
BA	<i>T. dicoccum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>dicoccum</i>	<i>T. turgidum</i>
BA	<i>T. durum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>durum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>durum</i>	<i>T. turgidum</i>
BA	<i>T. ispahanicum</i>	—	—	—
BA	<i>T. jakubzineri</i>	—	—	—
BA	<i>T. karamyschevii</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>georgicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>paleocolchicum</i>	—
BA	<i>T. polonicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>polonicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>polonicum</i>	<i>T. turgidum</i>
BA	<i>T. turanicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>turanicum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turanicum</i>	—
BA	<i>T. turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i> conv. <i>turgidum</i>	<i>T. turgidum</i> subsp. <i>turgidum</i>	<i>T. turgidum</i>
GA	<i>T. araraticum</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>armeniicum</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>armeniicum</i>	<i>T. timopheevii</i>
GA	<i>T. militinae</i>	—	—	—
GA	<i>T. timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i> subsp. <i>timopheevii</i>	<i>T. timopheevii</i>
BAD	<i>T. aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>aestivum</i>	<i>T. aestivum</i>
BAD	<i>T. compactum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>compactum</i>	<i>T. aestivum</i>
BAD	<i>T. macha</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>macha</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>macha</i>	<i>T. aestivum</i>
BAD	<i>T. petropavlovskiyi</i>	—	—	—
BAD	<i>T. spelta</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>spelta</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>spelta</i>	<i>T. aestivum</i>
BAD	<i>T. sphaerococcum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>sphaerococcum</i>	<i>T. aestivum</i> subsp. <i>sphaerococcum</i>	<i>T. aestivum</i>
BAD	<i>T. varilovii</i>	—	—	<i>T. aestivum</i>
GAA	<i>T. zhukovskiyi</i>	<i>T. zhukovskiyi</i>	<i>T. zhukovskiyi</i>	<i>T. zhukovskiyi</i>

Figure 2. Comparison of the most accepted *Triticum* taxonomic classification systems (WGRC 2018). (1) Genome, (2) Classification

## Irodalom

- Aaronsohn, A.*: 1910. Agricultural and botanical explorations in Palestine. U.S. Department of Agriculture, Bureau of Plant Industry - Bulletin no. 180. Government Printing Office. Washington.
- Aaronsohn, A.*–*Schweinfurth, G.*: 1906. Die Auffindung des wilden Emmers *Triticum Diccoccum* in Nordpalästina. Altneuland: Monatsschrift für die wirtschaftliche Erschließung Palästinas/Zionistische Kommission zur Erforschung Palästinas. 3: 213–220.
- Antal J. (szerk.)*: 2005. Növénytermesztés tan 1. Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Appels, R.*–*Eversole, K.*–*Feuillet, C.*–*Keller, B.*–*Rogers, J.*–*Stein, N.*: 2018. Shifting the limits in wheat research and breeding using a fully annotated reference genome. *Science*. 361 (6403). eaar 7191: 1–13.
- Bar-Yosef, O.*: 1998. On the nature of transitions: the Middle to Upper Palaeolithic and the Neolithic revolution. *Cambridge Archaeological Journal*. 8. 2: 141–163.
- Bauhin, C.*: 1596. Seu enumeratio plantarum ab Herbarijsnostro seculo descriptarum, cum earum differentijs. Per Sebastianum Henricpetri, Basilea.
- Beke, B.*–*Barabás, Z.*: 1981. The first Hungarian durum wheat varieties. *Cereal Res. Commun.* 9: 115–117.
- Boccaccio, G.*: 1961. Dekameron. Európa Kiadó. Budapest.
- Bock, H.*: 1539. New kreütter Buch. Vol. 2. Wendel Ribel Buchtrucker. Strassburg.
- Bowden, W. M.*: 1959. The taxonomy and nomenclature of the wheats, barleys, and ryes and their wild relatives. *Canadian Journal of Botany*. 37: 657–684.
- Bowman, A. K.*: 1996. Egypt after the Pharaohs: 332 BC - AD 642 from Alexander to the Arab Conquest. University of California Press. Berkeley and Los Angeles.
- Cato, M. P.*: ≈ie. 160. De agri cultura: de agri cultura liber, post Henricum Keil iterum edidit Georgius Goetz (1922). Verlag von B.G. Teubner in Leipzig und Berlin.
- Clusius, C.*: 1594 *Stirpium nomenclator Pannonicus*. Ex officina Christofori Plantini. Antverpiae.
- Columella, L. I. M.*: ≈62. *Res Rustica*, Book II. [In: Lucius Junius Moderatus Columella, On Agriculture, In three volumes, I, *Res rustica* I-IV: With a recension of the text and an English translation by Harrison Boyd Ash (1961)]. Harvard University Press. Cambridge. Massachusetts. William Heinemann Ltd. London. 104–223.
- Davidson, A.*: 2014. The Oxford companion to food. Oxford University Press. Oxford.
- Desfontaines, R. L.*: 1798. *Flora Atlantica: sive historia plantarum quae in Atlante, agro tunetano et algeriensi crescunt*. Tomus primus. Parisiis. L.G. Desgranges.
- Dioszkoridész, P.*: I. sz. *Peri Ulms Iatrikns*. [In: Dioscorides, *De Materia Medica*. Being an herbal with many other medicinal materials. Written in Greek in the first century of the common era. A new indexed version in modern English by T. A. Osbaldeston and R. P. A Wood (2000)] Ibidis Press. Johannesburg. South Africa. 183–362.

- Dorofejev, V. F.–Filatenko, A. A.–Migusova, E. F.–Udacsin, R. A.–Jakubciner, M. M.:* 1979. Культурная флора СССР. Т. 1. Пшеница. Kolosz. Leningrád.
- Dvorak, J.–McGuire, P. E.–Cassidy, B.:* 1988. Apparent sources of the A genomes of wheats inferred from polymorphism in abundance and restriction fragment length of repeated nucleotide sequences. *Genome*. 30: 680–689.
- Feldman, M.:* 2001. Origin of cultivated wheat. [In: Bonjean, A. P.–Angus, W. J. (eds.) *The World wheat book: a history of wheat breeding.*] Lavoisier Publishing. London–Paris–New York. 3–56.
- Fljakszberger, K. A.:* 1935. Хлебные злаки пшеница. [In: Wulff, E. V. (ed.) *Культурная флора СССР.*] Goszudarsztvennoje Izdatel'sztvo Szovhoznoj Kolhoznoj Literaturü. Moszkva. Leningrád.
- Goncharov, N. P.–Golovina, K. A.–Kondratenko, E. Ya.:* 2009. Taxonomy and molecular phylogeny of natural and artificial wheat species. *Breeding Science*. 59: 492–498.
- Halász Gy.:* 1995. *Britannica Hungarica, Világenciklopédia. BREPOLs.* Turnhout. Belgium.
- Harlan, J. R.–Zohary, D.:* 1966. Distribution of wild wheats and barley. *Science*. 153: 1074–1080.
- Helbaek, H.:* 1956. Ancient Egyptian wheats. *Proceedings of the Prehistoric Society (New Series)*. 21: 93–95.
- Helmer, D.–Roitel, V.–Sana, M.–Willcox, G.:* 1998. Interprétations environnementales des données archéozoologiques et archéobotaniques en Syrie du Nord de 16000 BP à 7000 BP, et les débuts de la domestication des plantes et des animaux. *Travaux de la Maison de l'Orient méditerranéen*. 28: 9–33.
- Heun, M.–Schäfer-Pregl, R.–Klawan, D.–Castagna, R.–Accerbi, M.–Borghi, B.–Salamini, F.:* 1997. Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*. 278: 1312–1314.
- Hillman, G.:* 1978. On the origins of domestic rye – *Secale cereale*: the finds from aceramic Can Hasan III in Turkey. *Anatolian Studies*. 28: 154–174.
- Hillman, G.:* 1996. Late Pleistocene changes in wild plant-foods available to hunter-gatherers of the northern Fertile Crescent: possible preludes to cereal cultivation. [In: Hillman, D. (ed.) *The origins and spread of agriculture and pastoralism in Eurasia.*] UCL Press. London. 159–203.
- Hillman, G. C.–Davies, M. S.:* 1990. Measured domestication rates in wild wheats and barley under primitive cultivation, and their archaeological implications. *Journal of World Prehistory*. 4: 157–222.
- Husnot, T.:* 1896–1899. Graminées, Descriptions, figures et usages des graminées spontanées et cultivées de France, Belgique, Iles Britanniques, Suisse. T. Husnot, à Cahan, par Athis (Orne).
- International Grain Council.:* 2018. Durum outlook for 2018/19. *Grain Market Report*. 494 (22 November 2018): 8.

- Jakubziner, M. M.*: 1959. New wheat species. [In: Jenkins, B. C. (ed.) Proceedings of the First International Wheat Genetics Symposium held at the University of Manitoba. Canada. August 11–15, 1958.] University of Manitoba. Winnipeg. 207–220.
- Kihara, H.*: 1924. Cytologische und genetische Studien bei wichtigen Getreidearten mit besonderer Rücksicht auf das Verhalten der Chromosomen und Sterilität in den Bastarden. Memoirs of the College of Science. Kyoto Imperial University. Series B. 1. 4: 1–200.
- Kihara, H.*: 1930. Genomanalyse bei Triticum und Aegilops. Citologia. 1: 263–270.
- Kimber, G.–Sears, E. R.*: 1983. Assignment of genome symbols in the *Triticeae*. [In: Sakamoto, S. (ed.) Proceedings of the Sixth International Wheat Genetics Symposium: Held at Kyoto. Japan. November 28–December 3. 1983.] Plant-Germ-Plasm Institute. Faculty of Agriculture. Kyoto University. Kioto. 1195–1196.
- Kislev, M. E.–Nadel, D.–Carmi, I.*: 1992. Epipalaeolithic (19,000 BP) cereal and fruit diet at Ohalo II, Sea of Galilee, Israel. Review of Palaeobotany and Palynology. 73: 161–166.
- Kislev, M.*: 1981. The history of evolution of naked wheats. Zeitschrift für Archäologie Berlin. 15: 57–64.
- Kislev, M. E.*: 1980. Triticum parvicoccum sp. nov., the oldest naked wheat. Israelian Journal of Botany. 28: 95–107.
- Kislev, M. E.*: 1984. Emergence of wheat agriculture. Paleorient. 10: 61–70.
- Komarov, V. L.–Rozsevic, R. Ju.–Siskin, B. K.*: 1934. Флора СССР, II. Izdatel'stvo Akademii Nauk SzSzSZR. Leningrad.
- Körnicke, F.*: 1885. Handbuch des Getreidebaues. Erste Band: Die Arten und Varietäten. Verlag von Paul Parey. Berlin.
- Körnicke, F.*: 1889. Ueber die wilden Stammformen unserer Kulturweizen. Decheniana, Verhandlungen des naturhistorischen Vereines der preussischen Rheinlande, Westfalens und des Reg.-Bezirks Osnabrück. Botanik. 21.
- Központi Statisztikai Hivatal*: 2018. A fontosabb növények vetésterülete, 2018. június 1. Statisztikai Tükör, 2018 augusztus 3. 1–5.
- Levy, A. A.–Feldman, M.*: 2004. Genetic and epigenetic reprogramming of the wheat genome upon allopolyploidization. Biological Journal of the Linnean Society. 82: 607–613.
- Linné C. von*: 1753. Species Plantarum. Impensis Laurentii Salvii, Holmiae.
- Löve, Á.*: 1984. Conspectus of the Triticeae. Feddes Repertorium. 95: 425–521.
- Luo, M. C.–Gu, Y. Q.–Puiiu, D.–Wang, H.–Twardziok, S. O.*: 2017. Genome sequence of the progenitor of the wheat D genome *Aegilops tauschii*. Nature. 551: 498.
- Mac Key, J.*: 1988. A plant breeder's aspect on taxonomy of cultivated plants. Biologisches Zentralblatt. 107: 369–379.
- Mac Key, J.*: 2005. Wheat: its concept, evolution, and taxonomy. [In: Royo et al. (eds.) Durum wheat breeding: current approaches and future strategies, Vol. 1.] Food Products Press. An Imprint of The Haworth Press Inc. New York–London–Oxford. 3–61.

- Majer, U.*: 1996. Morphological studies of free-threshing wheat ears from a Neolithic site in southwest Germany, and the history of the naked wheats. *Vegetation History and Archaeobotany*. 5: 39–55.
- Morris, R.–Sears, E. R.*: 1967. The cytogenetics of wheat and its relatives. [In: Quisenberry, K. S.–Reitz, L. P. (eds.) *Wheat and wheat improvement.*] American Society of Agronomy. Madison. WI. 19–87.
- Murphy, D. J.*: 2007. *People, plants and genes: the story of crops and humanity.* Oxford University Press Inc. New York.
- NÉBIH*: 2017. A Növénytermesztési és Kertészeti Igazgatóság tájékoztatása a 2017. évi kalászos fajtaarányokról az alkalmas minősítésű vetőmagzaporító területek alapján. <http://portal.nebih.gov.hu/documents/10182/772462/1536%C5%91szi180108/944687d6-79f1-aaa9-c064-30300538f34e>. 2018. 12. 15.
- NÉBIH*: 2018. Nemzeti Fajtajegyzék: Szántóföldi növények. NÉBIH. Budapest.
- Odry P.*: 1929. A keménymagvú búza (*Triticum durum*) termesztése. *Köztelek*. 39: 2097–2098.
- Percival, J.*: 1921. *The wheat plant.* Duckworth & Co. London.
- Pena, P.–L'Obel, M.*: 1571. *Stirpium adversaria nova.* Thomas Purfoet. London.
- Plinius Secundus, C.*: 2009. *Naturalis historia: Természetráj (XIV–XVIII).* JATE Press. Szeged.
- Ranieri, R.*: 2015. Geography of the durum wheat crop. *Pastaria International*. 6: 24–36.
- Ruel, J.*: 1537. *De Natura Stirpium Libri Tres. Basileae,* In Officina Frobeniana.
- Salamini, F.–Özkan, H.–Brandolini, A.–Schäfer-Pregl, R.–Martin, W.*: 2002. Genetics and geography of wild cereal domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics*. 3: 429–441.
- Sakamura, T.*: 1918. Kurze Mitteilung über die Chromosomenzahlen und die Verwandtschaftsverhältnisse der Triticum-Arten. *Shokubutsugaku Zasshi*. 32: 150–153.
- Schlumbaum, A.–Jacomet, S.–Neuhaus, J. M.*: 1998. Coexistence of tetraploid and hexaploid naked wheat in a Neolithic lake dwelling of Central Europe: Evidence from morphology and ancient DNA. *Journal of Archaeological Science*. 25: 1111–1118.
- Schulz, A.*: 1913. *Die Geschichte der kultivierten Getreide. Vol 1.* Halle a.d.S. Louis Neberts Verlag.
- Slageren, M. W. van*: 1994. *Wild wheats: a monograph of Aegilops L. and Amblyopyrum (Jaub. & Spach) Eig (Poaceae).* Wageningen Agricultural University Papers. No. 94–97.
- Szunics L.*: 1986. A durum búza Magyarországon a hazai szakirodalom tükrében. *Növénytermelés*. 35: 259–267.
- Szunics, L.–Bedő, Z.–Szunics, Lu.–Láng, L.–Veisz, O.*: 1998. Results of durum wheat breeding in Martonvásár. *Acta Agronomica Hungarica*. 46: 135–148.



- Teofrasztoz*: ≈i.e. 350–287. Peri futon istorias. [In: Theophrastus, Inquiry into plants, and minor works on odours and weather signs, with an English translation by Sir Arthur Hort, In two Volumes, Vol II (1916).] William Heinemann. London. G.P. Putnam's Sons. New York.
- Thellung, A.*: 1918. Neuere Wege und Ziele der botanischen Systematik, erläutert am Beispiele unserer Getreidearten. Naturwissenschaftliche Wochenschrift. 33: 465–480.
- Tournefort, J. P. de*: 1694. Eléments de botanique, ou méthode pour connaître les plantes. De l'Imprimerie Royale. Paris.
- Tschermak, E. von*: 1914. Die Verwertung der Bastardierung für phylogenetische Fragen in der Getreidegruppe. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung. 2: 291–312.
- Tsunewaki, K.*: 1976. Genetic diversity of the cytoplasm in *Triticum* and *Aegilops*. V: classification of 23 cytoplasm into eight plasma types. Japanese Journal of Genetics. 51: 175–191.
- Tsunewaki, K.*: 2015. Prof. H. Kihara's genome concept and advancements in wheat cytogenetics in his school. [In: Ogihara et al. (eds.) Advances in wheat genetics: from genome to field. Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Wheat Genetics Symposium.] Springer. Tokyo–Heidelberg–New York–Dordrecht–London.
- Varro, M. T.*: ≈i.e. 36. Rerum rusticarum libri tres. [In: M. Terrenti Varronis Rerum rusticarum libri tres, post Henricum Keil iterum editit Georgius Goetz (1912).] Verlag von B.G. Teubner in Leipzig und Berlin.
- Vavilov, N. I.*: 1913. Материалы к вопросу об устойчивости хлебных злаков против паразитических грибов. Труды Селекционной Станции при Московском Сельскохозяйственном Институте. Vol I. Moskva.
- Vavilov, N. I.*: 1915. Immunity to fungous diseases as a physiological test in genetics and systematics, exemplified in cereals. Journal of Genetics. 4: 49–65.
- Veneny L.*: 1930. A keményszemű búza (*Triticum durum*) Oroszországban. Köztelek. 40. 8: 104–106.
- Weiss, E.–Wetterstrom, W.–Nadel, D.–Bar-Yosef, O.*: 2004. The broad spectrum revisited: Evidence from plant remains. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 101: 9551–9555.
- Werner, H.*: 1885. Handbuch des Getreidebaues. Zweiter Band: Die Sorten und der Anbau des Getreides. Berlin. Verlag von Paul Parey.
- WGRC (Wheat Genetic and Genomic Resources Center)*: 2018. Wheat taxonomy: Triticum comparative classification table. [http://www.k-state.edu/wgrc/wheat\\_tax/Taxonomy/comptri.html](http://www.k-state.edu/wgrc/wheat_tax/Taxonomy/comptri.html). 2019. 01. 17.
- Winkler, H.*: 1920. Verbreitung und Ursache der Parthenogenesis im Pflanzen- und Tierreiche. Verlag von Gustav Fischer, Jena.
- Zade, A.*: 1914. Serologische Studien an Leguminosen und Gramineen. Zeitschrift für Pflanzenzüchtung. 2: 101–151.

- Zeist, W. van-Bakker-Heeres, J. A. H.*: 1985. Archaeobotanical studies in the Levant: I. Neolithic sites in the Damascus basin: Aswad, Ghoraife, Ramad. *Palaeohistoria*. 24: 165-256.
- Zohary, D.-Hopf, M.-Weiss, E.*: 2012. Domestication of plants in the Old World (4<sup>th</sup> edition). Oxford University Press. Oxford.
- Zohary, M.*: 1982. Plants of the Bible. Cambridge University Press. Cambridge.

A szerző levelezési címe - Address of the author:

Dr. Vida Gyula  
MTA Agrártudományi Kutatóközpont  
Mezőgazdasági Intézet  
Martonvásár  
Brunszvik u. 2.  
H-2462



**NAGY JÁNOS** főszerkesztő  
a Magyar Tudományos Akadémia doktora,  
Debreceni Egyetem prorektora,  
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

---