

Crop  
Production

HERMAN OTTÓ INTÉZET  
KÖZMŰVELŐI ÉRTÉKELÉSI ÉRTÉKELÉSI ÉRTÉKELÉSI

# NÖVÉNYTERMELÉS

70. kötet | 3. szám | 2021. szeptember

70. kötet | 3. szám | 2021. szeptember  
előzetes

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



Eltérő kukorica (*Zea mays* L.)  
genotípusok relatív klorofill  
tartalma és  
terméshozamjainak  
közötti összefüggésvizsgálat  
multifaktoriális  
trágyázási tartamkísérletben

A fehér tagyógy (*Viscum  
Album* L.) leveles hajtásainak  
antioxidáns  
kapacitás vizsgálata

Az amerikai kukoricabogár  
(*Diabrotica virgifera virgifera*  
LeConte) lárvakártételű italása a  
kukorica (*Zea mays* L.)  
termésének mennyiségi és  
minőségi paramétereire  
szántóföldi tartamkísérletben

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

# Növénytermelés

CROP PRODUCTION

70. kötet, 3. szám, 2021. szeptember

*Főszerkesztő/Editor-in-Chief:*

JÁNOS NAGY

*Szerkesztőbizottság/Editorial Board:*

Z. BERZSENYI, M. BIRKÁS, CS. GYURICZA, E. HARSÁNYI,  
K. INUBUSHI, Z. IZSÁKI, M. JOLÁNKAI, T. KISMÁNYOKY,  
L. CS. MARTON, J. NAGY, P. PEPÓ, K. RAJKAI,  
R. SCHMIDT, A. SZÉLES

AGRÁRMINISZTERIUM

A kiadásért felelős a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője.

A nyomást és kötést az OOK-Press Nyomda végezte.

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Incze József

ISSN 0546-8191

## TARTALOM

<i>Horváth Dávid – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Széles Adrienn – Nagy János:</i> Eltérő kukorica ( <i>Zea mays</i> L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és termésparaméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben .....	7
<i>Lantos Ferenc – Ormódi Béla Márton – Makra László – Hajtó Tibor – Csizmadia Ágnes – Krisch Judit:</i> A fehér fagyöngy ( <i>Viscum album</i> L.) leveles hajtásainak antioxidáns kapacitás vizsgálata .....	25
<i>Szabó Atala – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Széles Adrienn – Zelenák Annabella – Nagy János:</i> Az amerikai kukoricabogár ( <i>Diabrotica virgifera virgifera</i> LeConte) lárvakártétel hatása a kukorica ( <i>Zea mays</i> L.) termésének mennyiségi és minőségi paramétereire szántóföldi tartamkísérletben .....	41
<b>SZEMLE</b>	
<i>Berzsenyi Zoltán:</i> A növénytermesztési kísérletek értékelése ANOVA típusú kevert (mixed) modellel .....	63
<i>Békés Ferenc – Ács Péterné – D. A. I. Suter – Ács Katalin – Lantos Csaba – Cseuz László – Pauk János:</i> Milyen okok állnak a gabonákkal szembeni érzékenység háttérében? II. A gabona-feldolgozás hatásai az egészségre káros komponensekre .....	87
<b>ABSZTRAKT</b>	
<i>Bakos Zsuzsanna – Bojtor Csaba – Illés Árpád – Demeter Cintia – Zelenák Annabella – Szabó Atala – Nagy Orsolya:</i> Egy csemegekukorica fajta ( <i>Zea mays</i> L. convar. saccharata Koern) tápértéke és termésparaméterei .....	108
<i>Rácz Dalma – Duzs László – Horváth Éva – Zagyai Péter– Széles Adrienn:</i> Különböző talajhőmérsékleti értékek hatása a nitrogén stabilizáló hatékonyságára kukoricában ( <i>Zea mays</i> L.) .....	112
<i>Szabó Atala – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Bakos Zsuzsanna – Nagy János:</i> A különböző nitrogénellátottság hatása a kukorica levélfelület indexére és termésparamétereire .....	116
<i>Tamás András – Radócz László:</i> Kukoricahibridek csírázási dinamikája különböző talajművelési rendszerek esetén .....	120

## CONTENTS

<i>D. Horváth – Á. Illés – Cs. Bojtor – A. Széles – J. Nagy</i> : Correlation analysis between relative chlorophyll content and yield parameters of different maize ( <i>Zea mays</i> L.) genotypes in a multifactorial fertilisation long-term experiment .....	7
<i>F. Lantos – B. M. Ormódi – L. Makra – T. Hajtó – Á. Csizmadia – J. Krisch</i> : Antioxidant capacity analysis of the leafy shoots of European mistletoe ( <i>Viscum album</i> L.) .....	25
<i>A. Szabó – Á. Illés – Cs. Bojtor – A. Széles – A. Zelenák – J. Nagy</i> : Effect of Western corn rootworm ( <i>Diabrotica virgifera virgifera</i> LeConte) larval damage on quantitative and qualitative parameters of maize ( <i>Zea mays</i> L.) yield in a field trial .....	41
<b>REVIEW</b>	
<i>Z. Berzsenyi</i> : Analysis of crop production experiments using ANOVA-type mixed models .....	63
<i>F. Békés – P. Né Ács – D. A. I. Suter – K. Ács – Cs. Lantos – L. Cseuz – J. Pauk</i> : What are the reasons behind the sensitivity to cereals? II. The effects of cereal processing on the components harmful to health .....	87
<b>ABSTRACT</b>	
<i>Zs. Bakos – Cs. Bojtor – Á. Illés – C. Demeter – A. Zelenák – A. Szabó – O. Nagy</i> : Nutritional values and yield parameters of a sweet maize variety ( <i>Zea mays</i> L. convar. <i>saccharata</i> Koern) .....	108
<i>D. Rácz – L. Duzs – É. Horváth – P. Zagyai – A. Széles</i> : The impact of different soil temperatures on the nitrogen stabilizer efficiency in maize ( <i>Zea mays</i> L.) .....	112
<i>A. Szabó – Á. Illés – Cs. Bojtor – Zs. Bakos – J. Nagy</i> : Effect of the different nitrogen supply on the leaf area index and yield parameters of maize .....	116
<i>A. Tamás – L. Radócz</i> : Germination dynamics of different maize hybrids under different tillage systems .....	120

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Д. Хорват – А. Пиллеи – Ч. Бойтор – А. Селеиш – Я. Надь:</i> Исследования связи между релятивным содержанием хлорофилла и параметрами урожая различных генотипов кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.) в мультифакторном продолжительном опыте удобрений .....	7
<i>Ф. Лантош – Б. М. Ормоди – А. Макра – Т. Хайто – А. Чизмадия – Ю. Криш:</i> Исследование антиоксидантной мощности листьев побегов белой омели ( <i>Viscum album</i> L.) .....	25
<i>А. Сабо – А. Пиллеи – Ч. Бойтор – А. Селеиш – А. Зеленак – Я. Надь:</i> Влияние вреда личинки западного (американского) кукурузного жука диабротика ( <i>Diabrotica virgifera virgifera</i> LeConte) на количественные и качественные параметры урожая кукурузы ( <i>Zea mays</i> L.) в пашенном продолжительном опыте .....	41
ОБЗОР	
<i>З. Бергенш:</i> Оценка опытов растениеводства смешанной моделью типа ANOVA .....	63
<i>Ф. Бекеш – П.-Не Ач – Д. А. А. Сутер – К. Ач – Ч. Лантош – Л. Чеуз – Я. Паук:</i> Какие причины стоят в основе чувствительности к зерновым? II. Влияние обработки зерна на вредные для здоровья компоненты .....	87
РЕЗЮМЭ	
<i>Ж. Бакош – Ч. Бойтор – А. Пиллеи – Ц. Деметер – А. Зеленак – А. Сабо – О. Надь:</i> Питательная ценность и параметры урожая одного сорта сахарной кукурузы ( <i>Zea mays</i> L. convar. <i>saccharata</i> Koern) .....	108
<i>Д. Рац – Л. Дуж – Е. Хорват – П. Задьи – А. Селеиш:</i> Влияние различных величин температуры почвы на стабилизирующую эффективность азота в кукурузе ( <i>Zea mays</i> L.) .....	112
<i>А. Сабо – А. Пиллеи – Ч. Бойтор – Ж. Бакош – Я. Надь:</i> Влияние различной обеспеченности азотом на индекс поверхности листа кукурузы и на параметры урожая .....	116
<i>А. Тамаш – Л. Радоц:</i> Динамика прорастания гибридов кукурузы в случае различных систем почвообработки .....	120



**Eltérő kukorica (*Zea mays* L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és termésparaméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben**

HORVÁTH DÁVID - ILLÉS ÁRPÁD - BOJTOR CSABA -

SZÉLES ADRIENN - NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

**Összefoglalás**

A kísérlet a Debreceni Egyetem Látókép Növénytermesztési Kísérleti Telepen került beállításra, ahol kiváló tulajdonságokkal rendelkező mészlepedékes csernozjom típusú talaj áll rendelkezésre (Nagy 2019). A méréseket szántóföldi multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben végeztük, a kontroll, 120 kg/ha N+PK és 300 kg/ha N+PK tápanyagszintek hibridspecifikus vizsgálata céljából (Nagy 2019). A foszfor és kálium az egyes parcellákban azonos, őszi alaptrágya formájában kijuttatva ( $P_2O_5$  184 kg/ha,  $K_2O$  216 kg/ha). A kísérletben hat különböző kukorica genotípust vizsgáltunk, amelyek különböző éréscsoportba sorolhatók. A kísérletben mért termésmennyiségek 9,39 és 10,88 t/ha értékek között változtak. A legmagasabb értéket a H2 hibridnél mértük, amely ezen felül a fehérje- és nedvességtartalomban is kiemelkedett a többi hibrid közül. A négyleveles állapotban mért SPAD értékek pozitívan korreláltak a terméssel több genotípus esetében is, míg a H1 hibrid fehérjetartalmával, valamint a H3 hibrid olajtartalmával is pozitív összefüggést mértünk. A méréseink alapján az egyes genotípusok között szignifikáns különbségek voltak az általunk vizsgált négy fő fenológiai stádiumban. V4 állapotban a H1, V8 állapotban a H2, V12 állapotban a H6, valamint R3 állapotban a H4 hibridnél mértük a legnagyobb értékeket (38,36; 51,92; 44,45 és 44,31). A kutatásunk alapján az eltérő nitrogénellátottság statisztikailag igazolhatóan pozitív hatással van a termés



mennyiségére, valamint fehérjetartalmára. A termés mennyiségére és beltartalmi paramétereire gyakorolt hatás genotípusonként eltérő. A relatív klorofilltartalom értékei a korai vegetatív fejlődési fázisban is jól korreláltak a termés mennyiségével, a generatív fázisban pedig minden esetben erős pozitív korrelációt mutattak. A kutatási eredményeink alapján a relatív klorofilltartalom a termés mennyiségét jól meghatározó mérőszám.

Kulcsszavak: kukorica, szántóföldi tartamkísérlet, tápanyagreakció, nitrogéntrágyázás

### **Correlation analysis between relative chlorophyll content and yield parameters of different maize (*Zea mays* L.) genotypes in a multifactorial fertilisation long-term experiment**

D. HORVÁTH – Á. ILLÉS – CS. BOJTOR – A. SZÉLES – J. NAGY

University of Debrecen, Faculty of Agricultural, Food and Environmental Sciences,  
(Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen)

#### **Summary**

The experiment was set up at the University of Debrecen's Látókép Crop Production Experiment Site, where calcareous chernozem soil with excellent properties is available (Nagy 2019). The measurements were carried out in a multifactorial long-term fertilization experiment to investigate the hybrid-specific nutrient levels of control, 120 kg ha<sup>-1</sup> N+PK and 300 kg ha<sup>-1</sup> N+PK (Nagy 2019). Phosphorus and potassium were the same in each plot, applied as autumn basal fertilizer (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 184 kg ha<sup>-1</sup>, K<sub>2</sub>O 216 kg ha<sup>-1</sup>). In the experiment, six different maize genotypes, classified in different maturity groups, were tested. The yields measured in the experiment varied between 9.39 and 10.88 t ha<sup>-1</sup>. The highest value was measured for the H2 hybrid, which also excelled in protein and moisture content. SPAD values measured at four-leaf stage were positively correlated with yield in several genotypes, while a positive correlation was also measured with protein content in hybrid H1 and oil content in hybrid H3. Based on our measurements, there were significant differences between genotypes at the four main phenological stages studied. We measured the highest

values for the H1 at V4, H2 at V8, H6 at V12 and H4 at R3 (38.36, 51.92, 44.45 and 44.31). Our study shows that different nitrogen supply has a significant positive effect on yield and protein content. The effect on yield and content parameters varies between each genotype. Relative chlorophyll content values were well correlated with yield also in the early vegetative stage, and in the generative stage showed a strong positive correlation in all cases. Based on our research results, relative chlorophyll content serves as a proper measure of yield.

**Key words:** maize, long-term field experiment, nutrient response, nitrogen fertilisation

**Исследования связи между относительным содержанием  
хлорофилла и параметрами урожая различных генотипов  
кукурузы (*Zea mays* L.) в мультифакторном продолжительном  
опыте удобрений**

Д. ХОРВАТ – А. ИЛЛЕШ – Ч. БОЙТОР – А. СЕЛЕШ – Я. НАДЬ

Дебреценский Университет МЭК,

Институт Землепользования, Технический и Прецизионной Технологии, Дебрецен

**Резюме**

Опыт был установлен на Опытной Растениеводческой Базе Дебреценского Университета в местечке Латокеп (Látókép), на обладающей отличными качествами почве черноземного типа с известковой прослойкой (Nagy 2019). Измерения проводили в пахотном мультифакторном продолжительном опыте удобрений, с целью исследования специфичных для гибрида уровней питательного вещества в контроле, при 120 kg/ha N+PK и 300 kg/ha N+PK (Nagy 2019). Фосфор и калий внесён в отдельных парцеллах одинаково, в форме осеннего основного удобрения ( $P_2O_5$  184 kg/ha,  $K_2O$  216 kg/ha). В опыте исследовали 6 различных генотипов кукурузы, которые можно отнести к различным группам созревания. Измеренные в опыте показатели результатов урожая изменялись в рамках 9,39 и 10,88 t/ha. Самый высокий показатель измерили у гибрида H2, который кроме этого по содержанию белка и влаги выделялся среди других гибридов. Измеренные в состоянии 4-х листьев

показатели SPAD были в позитивной корреляции с урожаем в случае других генотипов также, а гибрид Н1 с содержанием белка, и гибрид Н3 с содержанием масла тоже показали позитивную зависимость. На основании наших измерений среди отдельных генотипов были значительные различия в исследованных нами четырёх главных фенологических стадиях. В состоянии V4 у гибрида Н1, в состоянии V8 у Н2, в состоянии V12 у Н6, и в состоянии R3 у гибрида Н4 измерили самые высокие величины (38,36; 51,92; 44,45 и 44,31). На основании нашего исследования различное обеспечение азотом статистически доказуемо позитивно влияет на количество урожая, а также на содержание им белка. Оказанное влияние на количество урожая и параметры внутреннего содержания различно по генотипам. Показатели релятивного содержания хлорофилла в фазе раннего вегетативного развития также хорошо были скоррелированы с количеством урожая, а в генеративной фазе во всех случаях показали сильную позитивную корреляцию. На основании результатов исследования релятивное содержание хлорофилла является хорошо определяющей урожай величиной.

**Ключевые слова:** кукуруза, пахотный продолжительный опыт, реакция на питательное вещество, внесение азотного удобрения

## Bevezetés

Napjainkban a túlnépesedés és a klímaváltozás következtében az emberiség élelmezése jelenti az egyik legnagyobb kihívást. Ebben a kukoricatermesztésnek kiemelkedő szerepe van a takarmány és humánfogyasztás számára előállított termékek szempontjából (Nagy 2021). A kukorica Magyarországon lényeges szerepet tölt be szántóföldi kultúráink között. Az elmúlt évtizedekben átlagosan egymillió hektár felett volt a vetésterülete, 2020-ban 973 ezer hektáron 8 382 000 tonna kukoricát takarítottak be 8,62 t/ha átlagterméssel (KSH 2020).

A növénytermesztés legfőbb feladata, hogy olyan körülményeket teremtsen a kultúrnövény számára, amellyel a termés mennyiségét maximalizálni tudjuk. Ehhez számos komponenst kell figyelembe venni. Elsősorban belső tényezők befolyásolják a növényeket, melyeket külső faktorok és kölcsönhatások módosíthatnak. A genotípus jelenti a belső

tényezőket, míg a külső tényezők közé tartoznak az abiotikus és a biotikus hatások. Ezek hatással vannak a növényekben lejátszódó fiziológiai reakciókra (Berzsenyi 2013). Az eltérő tápanyagellátottság, illetve a termesztés-technológia intenzitása szignifikánsan képes befolyásolni a növények esszenciális tápelemtartalmát (Bojtor et al. 2021), illetve a bennük lejátszódó enzimikus és fiziológiai markerfolyamatokat (Illés et al. 2021ab).

A növények alapvető felépítő folyamatában a fény energiájának megkötésével a vizet és a CO<sub>2</sub>-ot hasznos produktummá alakítja. A keletkezett szervesanyagot energia és CO<sub>2</sub>-fixálására használja fel, ami elemi fontosságú a növény saját szervesanyagának előállításához, ennél fogva a termés mennyiségét és minőségét is meghatározza (Reményi 2017). Ahhoz, hogy a termést maximalizálni tudjuk, a fotoszintézis hatékonyságát is maximalizálni kell, amihez a legjobb életfeltételeket kell megteremteni. A tápanyagellátás és a tápanyagutánpótlás mint agrotechnikai tényező rendkívül fontos ehhez (Sharma-Natu és Ghildiyal 2005).

Az alacsony hozamért elsősorban a gyenge minőségű talaj és a nem megfelelő növényi tápanyagutánpótlás felelős, amelynek egyik legfontosabb eleme a nitrogén. A nitrogén nagyon fontos szerepet játszik a növények növekedésében, így a termésmennyiség szempontjából döntő fontosságú lehet. Meghatározó az összefüggés a szár és a levelek sötétzöld színével, az erőteljes növekedéssel, az elágazásokkal, a levélterméssel és a méret-növekedéssel, továbbá a növény magasságát is jelentősen befolyásolja (Shah et al. 2009).

Walters (2003) szoros kapcsolatot talált a kukoricalevél klorofill- és N-tartalma, a levél N-tartalma, valamint a terméshozam között. A tápanyagutánpótlás befolyásolja a klorofill-a és klorofill-b mennyiségét és arányát. Mivel a fotoszintetikus pigmentek alacsony száma korlátozhatja a fotoszintézist, így a szervesanyag-termelés indexeként is használhatjuk (Cooper 1975).

A levél N-tartalma olyan tényező, amely befolyásolja az optimális fényhasználat hatékonyságát és a fotoszintézis intenzitását (Kergoat et al. 2008). A kukorica elsődleges termelékenysége (GPP – Gross Primary Productivity) és a teljes növényi klorofilltartalom között szoros összefüggés van, ebből kifolyólag a N- és klorofilltartalom figyelemmel követése fontos információkat szolgáltat a növény fotoszintetikus állapotáról (Gitelson et al. 2013). Széles et al. (2012) kutatásukban megállapították, hogy a kukoricalevél nitrogén-ellátottsága szoros kapcsolatban van a levél klorofill-

tartalmával, amelyet az öntözés - ezáltal a növények vízellátottsága - szignifikánsan képes befolyásolni.

A nitrogén megoszlik az oldható fehérjefrakciók között, viszont a N-tartalom növekedésével a tilakoid fehérjék mennyisége változatlan marad. A levél N-tartalmának változása ugyanakkor változásokat eredményez a tilakoid-rendszerben lévő pigment-fehérje komplexben, amely oka a klorofilltartalom és a ribulóz-1-5-bifoszfát karboxiláz-oxigenáz (RuBisCo) aktivitásának változása. Az egyik komponens mérése jó becslést jelenthet a másik kettőről (*Evans* 1989).

A klorofill által történő abszorpció biztosítja a szükséges kapcsolatot a távérzékeléses megfigyelések és a lombkorona állapotának jellemzői között. Ezek a N státusz és a fotoszintetikus aktivitás mutatóiként használnak (*Baret et al.* 2006).

A levél N-tartalma és a levél klorofilltartalma között lineáris összefüggést találtak a mintavételi időpontokban, viszont ezek a kapcsolatok a vegetációs időszak során változást mutattak. A növekedés korai szakaszban (550 GDD) a N-felvétel meghaladta a klorofilltermelést (*Schlemmer et al.* 2013).

A tápanyagellátás növelése a fotoszintetikusan aktív levélterület növekedésével jár, ezáltal kedvező hatású a termésmennyiség tekintetében (*Bencze és Futó* 2017).

Alapvető biokémiai tulajdonsága a kukoricának - mint C<sub>4</sub>-es növénynek - hogy a CO<sub>2</sub> először nem három, hanem négy szénatomos szerves savakban kötődik meg (*Sárvári* 2019). A fotoszintézis során adenzin-trifoszfát (ATP) és redukált nikotinamid-adenin-dinukleotid-foszfát (NADPH+H<sup>·</sup>) képződik. Ezek az anyagok kofaktorok a kloroplasztisban lejátszódó NH<sub>4</sub><sup>+</sup> asszimilációban. A levél N-tartalmának nagyrésze a klorofillokban található, így a nitrogénellátottság nagyban befolyásolja a klorofilloknak a mennyiségét (*Veres* 2018).

A kukoricában a nitrogén hiánya vizuálisan könnyen azonosítható tüneteket okoz. Az idősebb növényi részekből a fiatalabb növényi részekbe szállítja a növény a nitrogént, ami az idős levelek klorózisát, később pedig azok elöregedését eredményezi. Extrém N-hiány esetén már a hatodik levél megjelenésekor mutathat tüneteket. Ezzel ellentétben a túlzott N-tartalmú növények gyakran túl sötétzöld levelekkel rendelkeznek, és késleltetik a levelek öregedését. Ahol nincs N-utánpótlás a kukorica hétleveles

állapotában a harmadik levél kivonható klorofilltartalma pozitív korrelációban volt a termésmennyiséggel (*Piekielek és Fox 1992*).

Ha a nitrogénellátás korlátozott, akkor csökken a fotoszintézis abszolút kapacitása és kvantumhozama, továbbá az egységnyi levélfelületre jutó klorofill- és RuBisCo-tartalom is csökken. A fotoszintetikus készülék szerkezetére gyakorolt közvetlen hatások mellett csökken a Calvin-ciklusban részt vevő enzimek mennyisége, ami egyúttal csökkenti a szén asszimilációs képességét (*Tóth et al. 2002*).

### Anyag és módszer

A kísérlet a Debreceni Egyetem Látókép Növénytermesztési Kísérleti Telepen került beállításra, ahol kiváló tulajdonságokkal rendelkező mészlepedékes csernozjom típusú talaj áll rendelkezésre (*Nagy 2005*). A talaj 6,6-os (enyhén savanyú) pH értékkel rendelkezik. Fizikai féleségét tekintve agyagos vályog, az Arany-féle kötöttségi szám 44, továbbá közepes mésztartalom és közepes humusztartalom (2,66%) jellemzi (*1. táblázat*).

1. táblázat. A kísérleti talaj főbb tulajdonságai

pH <sub>KCl</sub>	K <sub>A</sub> (1)	Humusz%
6,60	44,00	2,66

Table 1. The main soil properties of the experiment. (1) Arany plasticity index, (2) Humus content (%)

A vetés 2020. április 17-én volt, 74 000 db/ha tőszámmal 7,6 m<sup>2</sup> parcellaterületen. A sortávolság 76 cm, a tőtávolság 18 cm volt. A méréseket szántóföldi multifaktoriális tápanyagutánpótlási tartamkísérletben végeztük, a kontroll, 120 kg/ha N+PK és 300 kg/ha N+PK tápanyagszintek hibrid-specifikus vizsgálata céljából (*Nagy 2019*). A kísérlet négy ismétlésben beállított split-plot elrendezésű kisparcellás kísérlet. A foszfor és kálium az egyes parcellákban azonos, őszi alaptrágya formájában kijuttatva (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 184 kg/ha, K<sub>2</sub>O 216 kg/ha). A kontroll parcellákon nem történt tápanyag-kijuttatás a tartamkísérlet 1986-os beállítása óta. A kísérletben hat különböző kukorica genotípust vizsgáltunk, amelyek különböző éréscsoportba

sorolhatók. Minden tápanyagszintnek a kísérleti parcellájából 10 növényt mértünk, a négy térbeli ismétlésben elhelyezkedő parcellákban.

A 2020-as év a léghőmérsékleti viszonyokat tekintve a legszembetűnőbb májusi jelentős negatív hőmérsékleti anomália, amely párosulva a tavaszi csapadék hiánnyal negatívan befolyásolta a fejlődést a vetés, kelés időszakában. A nyári hónapok esetében a június, július átlagos, vagy az átlagosnál kissé hűvösebb időjárást hozott, míg az augusztus egyértelműen a nyár átlagosnál melegebb időszaka volt, amely tendencia az őszi hónapokban is folytatódott. 2020-ban elmaradtak a korábban gyakran előforduló tartós hóhullámok. A virágzás körüli időszak bőséges csapadékmennyisége, illetve a mérsékelt magas hőmérsékleti viszonyok a fejlődés ezen kritikus fázisában valószínűleg segítették egy jó termés kialakulását. Az időszak 1500 foknap körüli értéke az öt év legalacsonyabb értéke volt (*Nagy és Nagy 2020*) (1. ábra).

1. ábra. A csapadékviszonyok és a hőmérséklet alakulása (Látókép, 2020)

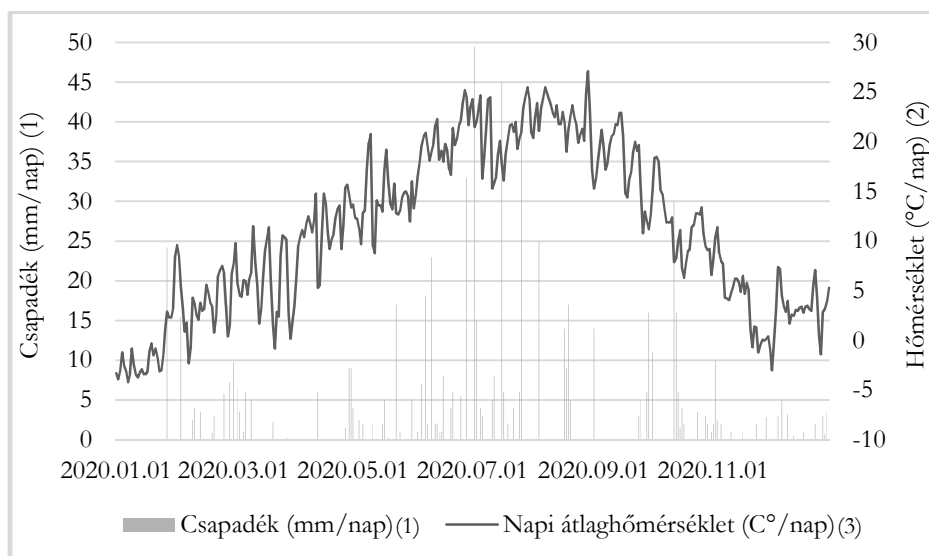


Figure 1. Precipitation and temperature data during the growing season (Látókép, 2020). (1) Precipitation (mm per day), (2) Temperature (°C per day), (3) Daily mean temperature (°C per day)

A levelek relatív klorofilltartalmát SPAD-502 (MINOLTA, Japán) klorofillmérővel mértük az adott fenológiai fázisban az utolsó kifejlett levélen. Az első mérést négyleveles állapotban ( $V_4$ ), a második mérést nyolcleveles állapotban ( $V_8$ ), a harmadik mérést 12-leveles állapotban ( $V_{12}$ ) végeztük. Az utolsó vizsgálati időpont a szemtelítődés időszakában ( $R_3$ ) volt, ahol a markerlevélként többször leírt csővel szemközti levél relatív klorofilltartalmát mértük. Minden parcellából 10 véletlenszerűen kiválasztott növényen végeztük a mérést, és az értéket három mérés eredményének átlaga szolgáltatta.

A termés beltartalmi paramétereit a FOSS Infratec 1241 gabonalabor segítségével határoztuk meg. A gabonavizsgáló műszer a közeli infravörös transzmissziós (NIT) technika elvén működik, ami lehetővé teszi darálás nélkül, egészmagból a szemestermények egy percen belüli, nagy pontosságú analizisét. A kukorica esetében a szemtermés alábbi paramétereinek vizsgálatát végeztük el: hektolitertömeg, keményítő-, nedvesség-, fehérje-, illetve olajtartalom. A betakarítás 2020. október 24-én volt. A beltartalmi vizsgálatot a betakarítást követően, azonos napon végeztük.

### Eredmények

A növények szervesanyag beépülési folyamatai közül a fotoszintézis fő alkotója a klorofill, ezért az egyes genotípusok főbb fenofázisaiban mért relatív klorofilltartalom – mintegy markerfolyamat – jelzi a hibrid fiziológiai állapotát az adott termőhelyi viszonyok között. A méréseink alapján a genotípusok között szignifikáns különbségek voltak az általunk vizsgált négy fő fenológiai stádiumban.  $V_4$  állapotban a H1,  $V_8$  állapotban a H2,  $V_{12}$  állapotban a H6, valamint  $R_3$  állapotban a H2 hibridnél mértük a legnagyobb értékeket (38,36; 51,92; 44,45 és 44,31). Ezzel szemben a legalacsonyabb értékeket  $V_4$  állapotban a H3,  $V_8$  állapotban a H6,  $V_{12}$  állapotban a H4, illetve  $R_3$  állapotban a H5 hibridnél mértünk (25,83; 38,79; 35,03 és 38,83) (2. táblázat).

A hibridek átlagában az eltérő mintavételi időpontokban a közepes ( $N_{120}$ ) és emelt dózisu ( $N_{300}$ ) nitrogéntrágyázás szignifikánsan növelte a kukorica leveleinek relatív klorofilltartalmát. Az  $N_{120}$  tápanyagkezelés minden fenológiai fázisban ( $V_4$ ,  $V_8$ ,  $V_{12}$  és  $R_3$ ) növelte a relatív klorofilltartalom értéket



a kontrollhoz viszonyítva a hibridek átlagában. Hasonló eredményt mértek *Edalat et al.* (2019) vizsgálataiban, ahol a nitrogén műtrágyával kezelt kukoricahibridek SPAD értékei jelentős mértékben növekedtek a műtrágyával nem kezelt hibridekhez képest.  $V_4$  fenológia fázisban az  $N_{120}$  és  $N_{300}$  tápanyagkezelés között 1,4 SPAD érték növekedés volt.

2. táblázat. Eltérő kukorica hibridek relatív klorofilltartalma (SPAD érték)  $V_4$ ,  $V_8$ ,  $V_{12}$  és  $R_3$  fenofázisban a multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben (Debrecen-Látókép, 2020, n=12)

Hibridek (2)	Fenofázis (1)			
	$V_4$	$V_8$	$V_{12}$	$R_3$
H1	38,36 <sup>a</sup>	50,04 <sup>a</sup>	38,19 <sup>bc</sup>	44,07 <sup>a</sup>
H2	28,65 <sup>c</sup>	51,92 <sup>a</sup>	37,76 <sup>bc</sup>	44,31 <sup>a</sup>
H3	25,83 <sup>d</sup>	47,58 <sup>b</sup>	36,74 <sup>bc</sup>	41,21 <sup>b</sup>
H4	26,39 <sup>d</sup>	42,92 <sup>c</sup>	35,03 <sup>c</sup>	43,86 <sup>a</sup>
H5	28,03 <sup>c</sup>	41,55 <sup>c</sup>	39,12 <sup>b</sup>	38,83 <sup>c</sup>
H6	36,41 <sup>b</sup>	38,79 <sup>d</sup>	44,45 <sup>a</sup>	41,09 <sup>b</sup>

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Table 2. Relative chlorophyll content of different maize hybrids (SPAD values) in the  $V_4$ ,  $V_8$ ,  $V_{12}$  and  $R_3$  phenological stages in multifactorial fertilisation experiment (Debrecen-Látókép, 2020, n=12). (1) Phenophases, (2) Hybrids, Note: values marked with different letters are statistically different.

$V_8$ -ban nem volt a  $N_{300}$  tápanyagkezelésnek szignifikáns hatása a  $N_{120}$  kezeléshez képest, majd a tenyészidőszak második felében  $V_{12}$  és  $R_3$  fenológiai fázisban szintén növelte a  $N_{300}$  tápanyagkezelés a növények relatív klorofilltartalom értékét a kontrollhoz viszonyítva. Az  $R_3$  fázisban a  $N_{300}$  az  $N_{120}$ -hoz képest 7 SPAD egységgel szignifikánsan növelte a relatív klorofilltartalmat a hibridek átlagában (3. táblázat).  $N_{300}$  műtrágyakezelésnek jelentős hatása volt a tenyészidőszak végén szemtelítődés időszakában a zöld növényi tömeg hosszabb idejű fenntartásában. *Illés et al.* (2021b) vizsgálatai szerint a nitrogén - mint meghatározó fontosságú makroelem - képes befolyásolni a szenescencia öregedés folyamatának ütemét és annak átmenetét. Kontroll állománynál 28,65 SPAD értéket  $N_{300}$  kezelés hatására pedig 52,51 SPAD értéket mértünk  $R_3$  fenofázisban.

3. táblázat. Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukorica relatív klorofilltartalmára (SPAD érték) V<sub>4</sub>, V<sub>8</sub>, V<sub>12</sub> és R<sub>3</sub> fenofázisba (Debrecen-Látókép, 2020, n=24)

Nitrogén-ellátottság (2)	Fenofázis (1)			
	V <sub>4</sub>	V <sub>8</sub>	V <sub>12</sub>	R <sub>3</sub>
N <sub>0</sub>	28,43 <sup>c</sup>	43,53 <sup>b</sup>	34,84 <sup>b</sup>	28,65 <sup>c</sup>
N <sub>120</sub>	31,01 <sup>b***</sup>	46,54 <sup>a***</sup>	39,65 <sup>a***</sup>	45,52 <sup>b***</sup>
N <sub>300</sub>	32,41 <sup>a***</sup>	46,34 <sup>a***</sup>	41,16 <sup>a***</sup>	52,51 <sup>a***</sup>

Megjegyzés: Az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001

Table 3. The effect of different nitrogen fertilisation on relative chlorophyll content of different maize hybrids (SPAD values) in the V<sub>4</sub>, V<sub>8</sub>, V<sub>12</sub> and R<sub>3</sub> phenological stages (Debrecen-Látókép, 2020, n=24). (1) Phenophases, (2) Nitrogen supply level, Note: values marked with different letters are statistically different. Significant difference from control: \*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001.

A kutatásunk során elemeztük a relatív klorofilltartalom és termésparaméterek közötti összefüggéseket a kukorica főbb fenofázisában mért értékek alapján. A négyleveles állapotban mért SPAD értékek pozitívan korreláltak a terméssel több genotípus esetében is, míg a H1 hibrid fehérjetartalmával, valamint a H3 hibrid olajtartalmával is pozitív összefüggést mértünk. Statisztikailag igazolt negatív korrelációt a H3 genotípus keményítőtartalmának összefüggésvizsgálata során mértünk (4. táblázat). Mousavi és Nagy (2021) kutatásukban eltérő kukorica genotípusok fenometriai, fiziológiai és termésparaméterei közötti kölcsönhatásokat vizsgálták. Megállapították, hogy a relatív klorofilltartalom és az asszimilációs felület nagysága között szignifikáns pozitív korreláció van, amely a termés növekedését eredményezheti.

A generatív szemtelítődési fenofázisban minden genotípus esetében szignifikáns pozitív korreláció volt mérhető a levelek relatív klorofilltartalma, valamint a termés mennyisége és fehérjetartalma között (5. táblázat).

4. táblázat. Pearson-féle korrelációs koefficiens a kukorica hibridek termésparamétereit és a V<sub>4</sub> fenofázisában mért relatív klorofilltartalom értékek között

Termés paraméterek (2)	V <sub>4</sub> fenofázis (1)					
	Hibridek (3)					
	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Termés (4)	0,86***	-0,18	-0,30	0,64*	0,94	0,89***
Fehérje (5)	0,72**	0,01	-0,07	0,36	0,76	0,92***
Keményítő (6)	0,46	-0,09	-0,68*	-0,14	0,20	0,14
Olaj (7)	-0,36	-0,06	0,58*	-0,06	0,02	-0,04
Nedvesség (8)	-0,32	0,33	0,40	0,11	0,49	0,55

Megjegyzés: szignifikáns értékek: \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001.

Table 4. Pearson's correlation coefficients between yield parameters of maize hybrids and relative chlorophyll content values measured in the V<sub>4</sub> phenological stage. (1) V<sub>4</sub> phenophase, (2) Yield parameters, (3) Hybrids, (4) Yield, (5) Protein, (6) Starch, (7) Oil, (8) Moisture, Note: significant values: \*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001.

5. táblázat. Pearson-féle korrelációs koefficiens a kukorica hibridek termésparamétereit és az R<sub>3</sub> fenofázisában mért relatív klorofilltartalom értékek között

Termés paraméterek (2)	R <sub>3</sub> fenofázis (1)					
	Hibridek (3)					
	H1	H2	H3	H4	H5	H6
Termés (4)	0,88***	0,85***	0,92***	0,87***	0,89***	0,94***
Fehérje (5)	0,83**	0,92***	0,95***	0,92***	0,86***	0,91***
Keményítő (6)	0,47	-0,15	0,25	-0,30	0,06	0,28
Olaj (7)	-0,41	-0,05	-0,05	-0,20	0,20	-0,20
Nedvesség (8)	-0,15	0,51	-0,17	0,07	0,19	0,49

Megjegyzés: szignifikáns értékek: \*P<0,05; \*\*P<0,01; \*\*\*P<0,001

Table 5. Pearson's correlation coefficients between yield parameters of maize hybrids and relative chlorophyll content values measured in the R<sub>3</sub> phenophase. (1) R<sub>3</sub> phenophase, (2) Yield parameters, (3) Hybrids, (4) Yield, (5) Protein, (6) Starch, (7) Oil, (8) Moisture, Note: significant values: \*P<0.05, \*\*P<0.01, \*\*\*P<0.001.

Széles (2008) kutatásában a SPAD-érték és a termésmennyiség kapcsolatának vizsgálata során arra a következtetésre jutott, hogy sztochasztikus kapcsolat van közöttük ( $r=0,449$ ). Figyelembe véve a determinációs együttható ( $R^2$ ) értékét, a SPAD értéke 20,2%-ban határozta meg a termésmennyiséget. A kapott értékek alapján arra a következtetésre jutott, hogy a termés mennyisége növekszik a SPAD érték növekedésével, amely a mi kutatásunk során is megfigyelhető volt.

Az eltérő nitrogénellátottság, mint változó mértékű abiotikus stressz-faktor, szignifikáns hatással van a kukorica termésparamétereire. Növekvő nitrogéntrágyázás statisztikailag igazolható módon ( $***P\leq 0,001$ ) megnövekedett termésmennyiséget (+6,75; illetve +7,87 t/ha), valamint magasabb fehérjetartalmat (+0,57%, illetve +1,14%) eredményeztek. A növekvő nitrogénellátottság hatására az olajtartalom enyhe csökkenését tapasztaltuk (6. táblázat).

6. táblázat. Eltérő nitrogénellátottság hatása a kukorica termésparamétereire a multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben (Debrecen-Látókép, 2020, n=24)

Nitrogén-ellátottság (2)	Termésparaméterek (1)				
	Termés (t/ha) (3)	Fehérje (%) (4)	Olaj (%) (5)	Keményítő (%) (6)	Nedvesség (%) (7)
N <sub>0</sub>	5,17 <sup>c</sup>	5,13 <sup>c</sup>	3,01 <sup>a</sup>	65,48 <sup>b</sup>	17,12 <sup>ab</sup>
N <sub>120</sub>	11,92 <sup>b***</sup>	5,7 <sup>b***</sup>	2,93 <sup>a</sup>	65,88 <sup>***</sup>	17,04 <sup>b</sup>
N <sub>300</sub>	13,04 <sup>a***</sup>	6,27 <sup>a***</sup>	2,95 <sup>a</sup>	65,45 <sup>b</sup>	17,32 <sup>a</sup>

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: \* $P\leq 0,05$ ; \*\* $P\leq 0,01$ ; \*\*\* $P\leq 0,001$

Table 6. The effect of nitrogen fertilization on yield parameters of different maize hybrids in multifactorial fertilisation experiment (Debrecen-Látókép, 2020, n=24). (1) Yield parameters, (2) Nitrogen supply level, (3) Yield (t/ha), (4) Protein (%), (5) Oil (%), (6) Starch (%), (7) Moisture (%). Note: values marked with different letters are statistically different. Significant difference from control: \* $P\leq 0.05$ ; \*\* $P\leq 0.01$ ; \*\*\* $P\leq 0.001$ .

Eredményeink megegyeznek Bojtor et al. (2020) és Illés et al. (2020) kutatásukban leírtakhoz, amelyben a tápanyagutánpótlás szignifikáns

jelentőségét bizonyították a kukorica termésének mennyiségi és minőségi paramétereire. *Mousavi et al.* (2020) kutatásukban bizonyították, hogy az eltérő tápanyagellátottság szignifikáns hatással van a kukorica fenometriai és termésparamétereire, valamint kimutatták az eltérő genotípusok különbözőségét (6. táblázat).

### Következtetések

A kutatásunk alapján az eltérő nitrogénellátottság statisztikailag igazolhatóan pozitív hatással van a termés mennyiségére, valamint fehérjetartalmára. A termés mennyiségére és beltartalmi paramétereire gyakorolt hatás genotípusonként eltérő. A relatív klorofilltartalom értékei a korai vegetatív fejlődési fázisban is jól korreláltak a termés mennyiségével, a generatív fázisban pedig minden esetben erős pozitív korrelációt mutattak. A kutatási eredményeink alapján a relatív klorofilltartalom egy megfelelően használható mérőszám a termés mennyiségének meghatározásában.

### Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást A TKP2020-IKA-04 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati program, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt finanszírozásában valósult meg.

### IRODALOM

- Baret, F.-Houlés, V.-Guérif, M.*: 2006. Quantification of plant stress using remote sensing observations and crop models: the case of nitrogen management. *Journal of Experimental Botany*. 58. 4: 869-880.
- Bencze G.-Futó G.*: 2017. A kukorica relatív klorofill tartalma, levélterülete és termésátlaga közötti összefüggés vizsgálata monokultúras tartamkísérletben. *Jelenkori társadalmi és gazdasági folyamatok*. 12. 3: 21-28.
- Berzsenyi Z.*: 2013. *Növénytermesztés - Környezeti, növekedési és termésreakciók*. Agroinform. Budapest.
- Bojtor Cs.-Illés Á.-Nagy J.-Marton L. Cs.*: 2020. Nitrogéntrágyázás hatása eltérő kukorica hibridek szárazanyag-beépülésére és mikroelem-felvételére. *Növénytermelés*. 69. 3: 5-26.

- Bojtor, C.-Illés, A. -Nasir Mousavi, S. M.-Széles, A.-Tóth, B.-Nagy, J.-Marton, C. L.:* 2021. Evaluation of the Nutrient Composition of Maize in Different NPK Fertilizer Levels Based on Multivariate Method Analysis. *International Journal of Agronomy*.
- Cooper, J. P.:* 1975. *Photosynthesis and Productivity in Different Environments*. Cambridge University Press. Great Britain.
- Edalat, M.-Naderi, R.-Egan, T. P.:* 2019. Corn nitrogen management using NDVI and SPAD sensor-based data under conventional vs. reduced tillage systems. *Journal of Plant Nutrition*. 42. 18: 2310-2322.
- Evans, J.:* 1989. Photosynthesis and nitrogen relationships in leaves of C<sub>3</sub> plants. *Oecologia*. 9-19.
- Gitelson, A.-Schlemmer, M.-Schepers, J.-Ferguson, R.-Peng, Y.-Shanahan, J.-Rundquist, D.:* 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 25. 1: 47-54.
- Illés, Á.-Bojtor, C.-Széles, A.-Mousavi, S. M. N.-Tóth, B.-Nagy, J.:* 2021a. Effect of nitrogen fertiliser on the rate of lipid peroxidation of different maize hybrids in a long-term multifactorial experiment. *Acta Alimentaria*.
- Illés, Á.-Bojtor, C.-Széles, A.-Mousavi, S. M. N.-Tóth, B.-Nagy, J.:* 2021b. Analyzing the effect of intensive and low-input agrotechnical support for the physiological, phenometric, and yield parameters of different maize hybrids using multivariate statistical methods. *International Journal of Agronomy*.
- Illés, Á.-Mousavi, S. M. N.-Bojtor, C.-Nagy, J.:* 2020.: The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods. *Cereal Res. Commun.* 48. 4: 565-573.
- Kergoat, L.-Lafont, S.-Arneith, A.-Le Dantec, V.-Saugier, B.:* 2008. Nitrogen controls plant canopy light-use-efficiency in temperate and boreal ecosystems. *Journal of Geophysical Research*. 113. 4: 1-19.
- KSH:* 2020. Statisztikai tükör. Főbb növénykultúrák terméseredményei, 2020.
- Mousavi, S. M. N.-Illés, Á.-Bojtor, C.-Nagy, J.:* 2020. The impact of different nutritional treatments on maize hybrids morphological traits based on stability statistical methods. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 666-672.
- Mousavi, S. M. N.-Nagy, J.:* 2021. Evaluation of plant characteristics related to grain yield of FAO410 and FAO340 hybrids using regression models. *Cereal Res. Commun.* 49. 1: 161-169.
- Nagy J.:* 2005. 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában. [In: Nagy J. (szerk.) *Kukorica hibridek adaptációs képessége és termésbiztonsága.*] Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 8-83.
- Nagy J.:* 2019. Komplex talajhasználati, víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérletek 1983-tól a Debreceni Egyetemen. *Növénytermelés*. 68. 3: 5-28.

- Nagy J.: 2021. Kukorica. A nemzet aranya - Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 516.
- Nagy Z.-Nagy J.: 2020. Az agrometeorológiai tényezők értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletekben - 2019/2020. Növénytermelés. 69. 4: 5-22.
- Piekielek, W. P.-Fox, R. H.: 1992. Use of a Chlorophyll Meter to Predict Sidedress Nitrogen Requirements for Maize. Agronomy Journal. 84: 59-65.
- Reményi K.: 2017. A zöldülő Föld. Energiagazdálkodás. 58. 1-2: 56-59.
- Sárvári M.: 2019. Kukorica. [In: Sárvári M.-Pepó P. (szerk.) Alapnövények - Integrált növénytermesztés 2.] Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. Budapest. 59-92.
- Schlemmer, M.-Gitelson, A.-Schepers, J.-Ferguson, R.-Peng, Y.-Shanahan, J.-Rundquist, D.: 2013. Remote estimation of nitrogen and chlorophyll contents in maize at leaf and canopy levels. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 25: 47-54.
- Shah, S.-Zamir, M.-Waseem, M.-Ali, A.-Tahir, M.-Waleed, K.: 2009. Growth and Yield Response of Maize (*Zea mays* L.) to Organic and Inorganic Sources of Nitrogen. Pakistan. Journal of Life and Social Sciences. 7. 2: 108-111.
- Sharma-Natu, P.-Ghildiyal, M.: 2005. Potential targets for improving photosynthesis and crop yield. Current Science. 88. 12: 1918-1928.
- Széles, A. V.-Megyes, A.-Nagy, J.: 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. Agricultural Water Management. 107: 133-144.
- Széles, A.: 2008. The effect of crop year and fertilization in the interaction between the SPAD value and yield of maize (*Zea mays* L.) within non-irrigated conditions. Cereal Res. Commun. Suppl. II. 36: 1367-1370.
- Tóth, V.-Mészáros, I.-Veres, Sz.-Nagy, J.: 2002. Effects of the available nitrogen on the photosynthetic activity and xanthophyll cycle pool of maize in field. Journal of Plant Physiology. 159. 6: 527-634.
- Veres Sz.: 2018. A növényi nitrogén-hasznosítás elemei és kihívásai. 184-191.
- Walters, D.: 2003. Diagnosis of nitrogen deficiency maize and the influence of hybrid and plant density. Thirty-Third North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. 19: 19-26.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Horváth Dávid - \*Illés Árpád - Bojtor Csaba -  
Dr. Széles Adrienn - Dr. Nagy János  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
\*illes.arpad@agr.unideb.hu





## A fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) leveles hajtásainak antioxidáns kapacitás vizsgálata

<sup>1</sup>LANTOS FERENC - <sup>1</sup>ORMÓDI BÉLA MÁRTON - <sup>2</sup>MAKRA LÁSZLÓ -  
<sup>3</sup>HAJTÓ TIBOR - <sup>4</sup>CSIZMADIA ÁGNES - <sup>5</sup>KRISCH JUDIT  
Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar,  
<sup>1</sup>Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet, Hódmezővásárhely  
<sup>2</sup>Gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet, Hódmezővásárhely  
<sup>3</sup>Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar,  
Gyógyszerészi Kémiai Intézet, Pécs  
<sup>4</sup>Aryan Természetgyógyász Oktató- és Egészségnevelő Központ, Szentes  
<sup>5</sup>Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar,  
Élelmiszermérnöki Intézet, Szeged

### Összefoglaló

A dolgozat célja a különböző fajokról (fehér akác, magas kőris, fehér nyár, mezei juhar, fekete dió) begyűjtött európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) leveles hajtásainak, eltérő módszerekkel (DPPH, FRAP, TPC) mért antioxidáns kapacitás laboratóriumi vizsgálata. A kapott eredmények azt bizonyították, hogy a magas kőrisről (*Fraxinus excelsior*) begyűjtött leveles hajtások hidroxil-gyökökkel szembeni antioxidáns hatása, az ANOVA varianciaanalízis elemzése alapján szignifikánsan magasabb értékeket mutatott a vele összevetett fajokról gyűjtött mintákhoz képest, melyek egyes bogyóstermésű gyümölcsökhöz hasonlóan kimagasló antioxidáns tartamúak. A jövőben tehát kivitelezhetőnek tartunk olyan, legalább 80 m tengerszint feletti magasságon, zárt területen lévő magas kőris ligetek telepítését, ahol gyógy-növényként elkezdhetjük az európai fehér fagyöngy termesztését.

**Kulcsszavak:** európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.), leveles hajtás, antioxidáns-kapacitás, DPPH, FRAP, TPC

## Antioxidant capacity analysis of the leafy shoots of European mistletoe (*Viscum album* L.)

<sup>1</sup>F. LANTOS – <sup>1</sup>B. M. ORMÓDI – <sup>2</sup>L. MAKRA – <sup>3</sup>T. HAJTÓ –

<sup>4</sup>Á. CSIZMADIA – <sup>5</sup>J. KRISCH

University of Szeged, Faculty of Agriculture,

<sup>1</sup>Institute of Plant Sciences and Environmental Protection, Hódmezővásárhely

<sup>2</sup>Institute of Farming and Rural Development, Hódmezővásárhely

<sup>3</sup>University of Pécs, Faculty of Medicine,

Institute of Pharmaceutical Chemistry, Pécs

<sup>4</sup>Aryan Natural Medicine Training and Health Education Centre, Szentes

<sup>5</sup>University of Szeged, Faculty of Engineering,

Institute of Food Engineering, Szeged

### Summary

The aim of our work was to investigate the antioxidant capacity of European mistletoe (*Viscum album* L.) leaf shoots collected from different species of trees (black locust, European ash, white poplar, field maple, black walnut) based on different methods, then to compare and statistically evaluate the results. The obtained results proved that the antioxidant effect of leaf shoots from ash (*Fraxinus excelsior*) against hydroxyl radicals showed significantly higher values than the others, which are similarly outstanding with the antioxidant effects of some berry fruits. In the future, we consider it feasible to plant ash groves at an altitude of at least 80 m above sea level in a closed area, where we can start growing European white mistletoe as a herb.

**Key words:** mistletoe (*Viscum album* L.), leafy shoot, antioxidant capacity, DPPH, FRAP, TPC

## Исследование антиоксидантной мощности листьев побегов белой омели (*Viscum album L.*)

<sup>1</sup>Ф. ЛАНТОШ – <sup>1</sup>Б. М. ОРМОДИ – <sup>2</sup>А. МАКРА – <sup>3</sup>Г. ХАЙТО –

<sup>4</sup>А. ЧИЗМАДИЯ – <sup>5</sup>Ю. КРИШ

Сегедский Университет Сельскохозяйственный Факультет,

<sup>1</sup>Институт Ботаники и Защиты Окружающей Среды, Ходмезёвашархей

<sup>2</sup>Институт Хозяйствования и Развития Территорий, Ходмезёвашархей

<sup>3</sup>Печский Университет Медицинский Факультет,

Институт Лекарственной Химии, Печ

<sup>4</sup>Арийский Центр Естественной Медицины и Здравоохранения «Aryan», Сентеш

<sup>5</sup>Сегедский Университет Инженерный Факультет,

Институт Инженеров Продуктов Питания, Сегед

### Резюме

Целью работы является лабораторное исследование антиоксидантной мощности измеренной различными методами (DPPH, FRAP, TPC) листовых побегов собранной от различных пород деревьев (белая акация, обыкновенный ясень, белый тополь, полевой клён, чёрный орех) европейской белой омели (*Viscum album L.*). Полученные результаты подтверждают, что антиоксидантное влияние собранных от обыкновенного ясеня (*Fraxinus excelsior*) листовых побегов показало значительно более высокие величины против гидроксильных радикалов, на основе вариантного анализа ANOVA по сравнению с собранными с других пород деревьев образцами, которые как и некоторые плодоягодные фрукты также содержат много антиоксидантов. Таким образом в будущем считаем возможным, насаждения посадок обыкновенного ясеня на высоте более 80 м над уровнем моря, на закрытой территории, где начнём выращивать как лекарственное растение европейскую белую омелу.

**Ключевые слова:** европейская омела белая (*Viscum album L.*), побег с листьями, антиоксидантная мощность, DPPH, FRAP, TPC

## Bevezetés

Európa néhány országában több mint 60 éve használnak fehér fagyöngy leveléből és szárából származó vizes növényi kivonatokat a rák gyógyítására – mint immunmodulátort. Az ezért felelőshatóanyagot viszont csak 10 évvel ezelőtt sikerült kimutatni a fagyöngyben. Ez egy galaktozid specifikus cukorkötő fehérje (lektin), amelynek eltávolítása a növényi extraktumokból az immunmodulációs hatás elvesztését okozta in vivo kísérletekben (*Sharon* 1984, *Hajtó* 2002). Ebből kifolyóan az európai fehér fagyöngy kutatása az elmúlt 10 évben a benne levő lektinre összpontosult (*Dietrich et al.* 1992). A leveles hajtások egyéb bioaktív anyagainak (1. táblázat) oxidánsokkal szembeni hatékonyságát hazai kutatások alapján egyáltalán nem, nemzetközi viszonylatban is csak néhány tanulmány alapján ismerhetjük (*Vicas et al.* 2012). A biológiai rendszerekben az oxidációs folyamatok szabad gyököket termelnek. A szabad gyökök egy vagy több párosítatlan elektronnal rendelkeznek, ezért nagy reaktivitású, és így rövid életidejű részecskék, amelyek képesek lehetnek a szervezetben található anyagokat károsítani. Antioxidáns alatt leggyakrabban az élő szervezetben, illetve a táplálékban található olyan természetes vagy mesterséges vegyületeket értjük, amelyek feladata a kémiai oxidációs folyamatok gátlása vagy késleltetése (*Gillich és Krüzselyi* 2014).

Nézőpont kérdése, hogy a tömegesen megtelepedő európai fehér fagyöngy esetében egy értékes gyógynövényről van szó, vagy egy a gyümölcsösöket is veszélyeztető élősködőről

A dolgozatunk célja volt a különböző fajokról (fehér akác, magas kőris, fehér nyár, mezei juhar, fekete dió) begyűjtött európai fehér fagyöngy leveles hajtásoknak a DPPH, FRAP, valamint TPC módszereken alapuló antioxidáns kapacitásának laboratóriumi vizsgálata, a kapott eredmények összehasonlítása és statisztikai elemzése.

## Anyag és módszer

Az európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) örökzöld, virágos élősködő, amely különböző fajok hemiparazitája (*Szepessy* 1977).

1. táblázat. Az európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) leveles hajtásainak bioaktív komponensei

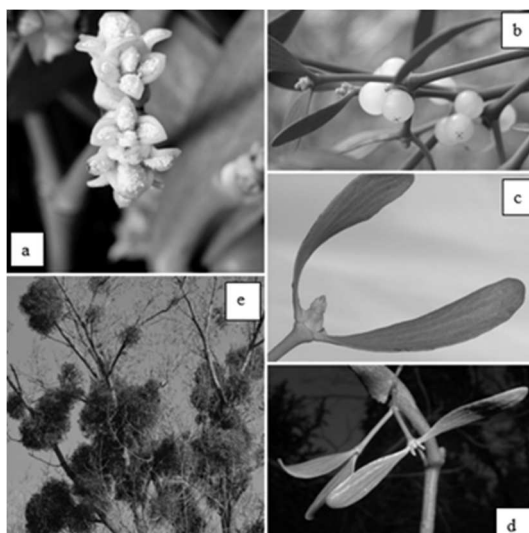
Bioaktív komponensek (1)	
Pentaciklusos triterpén (2)	betulinsav (6)
	gallussav (7)
	protokatechuinsav (8)
	gentisav (9)
	klorogénsav (10)
	para-hidrixi benzoésav (11)
Fenolsavak (3)	kávésav (12)
	szirinsav (13)
	szalicilsav (14)
	para-kumarinsav (15)
	ferulinsav (16)
	szinapinsav (17)
	fahéjsav (18)
Flavonoidok (4)	naringenin (19)
	kvercetin (20)
	kampherol (21)
Polifenol (5)	rozmarinsav (22)

Forrás: *Vicas et al.* (2012)

*Table 1.* Bioactive constituents of leafy shoots of European mistletoe (*Viscum album* L.). (1) Biosurfactant components, (2) Pentacyclic triterpenoids, (3) Phenolic acids, (4) Flavonoids, (5) Polyphenol, (6) Betulinic acid, (7) Gallic acid, (8) Protocatechuic acid, (9) 2,5-dihydroxybenzenesulfonic acid, (10) Chlorogenic acid, (11) Para-hydroxybenzoic acid, (12) Coffee acid, (13) Syringic acid, (14) Salicylic acid, (15) Para-coumaric acid, (16) Ferulic acid, (17) Sinapic acid, (18) Cinnamic acid, (19) Naringenin, (20) Quercetin, (21) Kaempferol, (22) Rosmarinic acid, Source: *Vicas et al.* (2012)

Botanikai rendszerében három fajt különböztetünk meg: az amerikai (*Phoradendron serotinum*), a koreai (*Viscum album* L. *coloratum*), valamint az európai géncentrumú (*Viscum album* L.) fagyöngyöt (*Barney et al.* 1998). Az európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) a szantálfafélék (*Santalaceae*) családjába, a fagyöngy (*Viscum*) nemzetségbe, a *Viscum album* fajba tartozó hemiparazita (1. ábra).

1. ábra. Az európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) habitusa

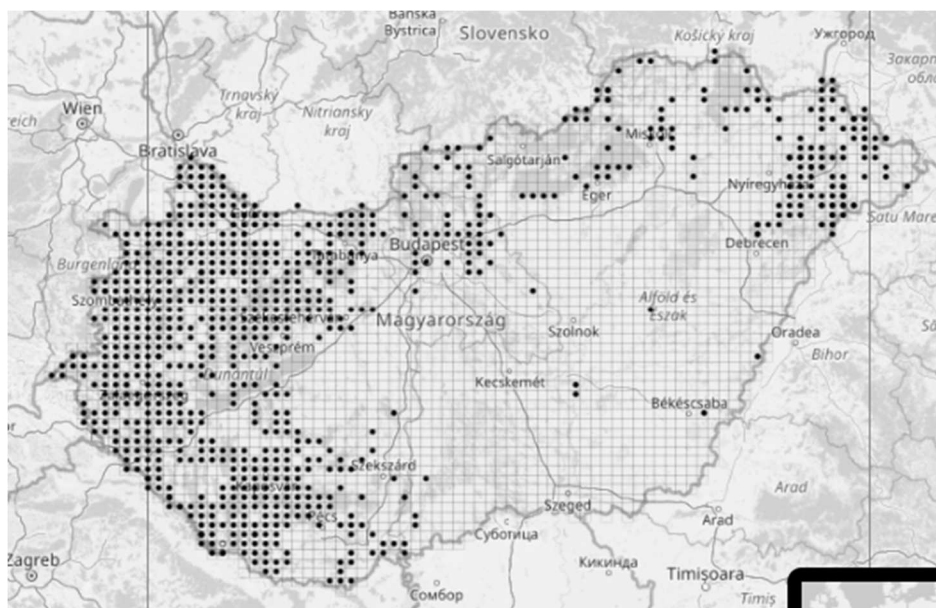


Megjegyzés: (a) virág, (b) termés, (c) levél, (d) hajtás, (e) bokrok.

Figure 1. Habitus of European mistletoe (*Viscum album* L.). Note: (a) flower, (b) fruit, (c) leaf, (d) shoot, (e) bushes.

Magvai terjesztésében Európában a rigók (*Turdus visciorus*, *Turdus pilaris*, *Turdus iliacus*) és a barátposzáta (*Sylvia atricapilla*) játszanak kiemelkedő szerepet. Tömegesen fordul elő a Felső-Tisza-vidéken, és a Dunántúl nagyrészen, a Bakony, a Zalai-dombság, Belső-Somogy és az Őrség területein (Varga 2013), míg az Északi-középhegységben szórányos, a Nagy-Alföldön pedig ritka (2. ábra).

A vizsgálatra szánt leveles hajtásokat 2020 októberében öt különböző tengerszint feletti magasságban elhelyezkedő dombvidéki és alacsonyabb fekvésű területről gyűjtöttük be (2. táblázat). Mindegyik fáról 70 g mintát szedtünk. A nedves leveles hajtásokat 24 órán keresztül 55 °C-on Memmert UN55 típusú szárítószekrényben szárítottuk, majd újabb 24 órán át sötét, páramentes helyen tároltuk. A növényminták antioxidáns kapacitásának meghatározására három módszert alkalmaztunk. A minták vizsgálatát mindhárom módszer esetében 6–6 ismétlésben hajtottuk végre.

2. ábra. Az európai fehér fagyöngy (*Viscum album* L.) előfordulása Magyarországon

Forrás: Net1

Figure 2. Distribution of European mistletoe (*Viscum album* L.) in Hungary. Source: Net1

2. táblázat. A begyűjtött minták pontos meghatározása

Fafaj (1)	Begyűjtés helye (2)	Tengerszint feletti magasság (3)
Fehér nyár ( <i>Populus alba</i> ) (4)	Zalacsány	>240 m
Magas kőris ( <i>Fraxinus excelsior</i> ) (5)	Keszthely	>240 m
Közönséges akác ( <i>Robinia pseudoacacia</i> ) (6)	Bátmonostor	80–85 m
Mezei juhar ( <i>Acer campestre</i> ) (7)	Nagybaracska	90–95 m
Fekete dió ( <i>Juglans nigra</i> ) (8)	Dunafalva	90–95 m

Table 2. Accurate determination of the collected samples. (1) Tree species, (2) Place of collection, (3) Elevation above sea level, (4) White poplar (*Populus alba*), (5) European ash (*Fraxinus excelsior*), (6) Black locust (*Robinia pseudoacacia*), (7) Field maple (*Acer campestre*), (8) Eastern black walnut (*Juglans nigra*)



Megjegyzendő, hogy a C-vitamin 50%-a 82,5 °C-on két perc alatt, 90 °C-on fél perc alatt bomlik el. Ez a folyamat a hőmérséklet vagy az idő növekedésével felgyorsul. A C-vitamin felének elbomlása 50 °C-on kb. egy óra alatt megtörténik (*Svirbelf és Szent-Györgyi 1932*).

#### *Az antioxidáns kapacitás meghatározás módszerei*

A jelenleg alkalmazott antioxidáns kapacitást mérő módszerek két csoportra oszthatók: 1. hidrogén atom átvitelén alapuló meghatározások (HAT – Hidrogen Atom Transfer), valamint a 2. elektronátmeneten alapuló vizsgálatok (ET – Electron Transfer). Kutatásainkhoz három hidrogénatom-átvitelen (FRAP, DPPH, TPC) alapuló vizsgálatot alkalmaztunk.

#### *DPPH-módszer*

A módszer kidolgozása *Blois (1958)* nevéhez fűződik. A DPPH (1,1-difenil-2-pikrilhidrazil) egy stabil szabad gyök, melynek lila színe az antioxidánsokkal lezajlott reakció után elhalványul. Ezt a színintenzitás csökkenést lehet mérni spektrofotométerrel. A DPPH módszert széles körben alkalmazzák a vegyületek hidrogendonorként történő működésének tesztelésére, valamint az extraktumok antioxidáns aktivitásának értékelésére.

#### *FRAP-módszer*

A módszert *Benzie és Strain (1996)* fejlesztette ki. A módszerben a  $Fe^{3+}$ -TPTz komplexet (TPTz = 2,4,6 tripiridil-s-triazin) az antioxidáns hatású vegyületek redukálják. Ez a reakció színváltozással jár (sárgából kék lesz), ami spektrofotométerrel meghatározható.

#### *TPC-módszer*

Az eredeti módszer *Singleton és Rossi (1965)* munkája, amely egy redukálóképességen alapuló antioxidáns kapacitás meghatározás. A meghatározás alapja, hogy a fenolos anyagok redukálják a foszfor-molibdén és foszfor-wolframsav keverékét, s mindez bázikus közegben történik. A redukció következtében kék színű molibdén-oxid és wolfram-oxid keletkezik. A keletkező kék szín spektrometriásan nyomon követhető 765 nm-en (*Huang et al. 2005, Balogh 2010*). Az alkalmazott hullámhosszon egyéb interferáló komponensek fényelnyelése elhanyagolható (*Apak et al. 2007*).

Figyelembe véve az európai fehér fagyöngy komponensek – a fenol-származékok (fenolsavak és flavonoidok), illetve a karotinoidok – specifikus hidrofíli és lipofíli jellegét, összehasonlítón mérjük a „lipofíli” és a „hidrofíli” antioxidáns kapacitást. A komponensek jellegének elfogadását *Vicas et al.* (2012) meghatározása szerint vettük alapul (1. táblázat).

#### *Alkalmazott statisztikai elemzések módszerei*

Az egyszempontos varianciaanalízist (ANOVA) alkalmaztuk annak eldöntésére, hogy a vizsgált fajokról származó fehér fagyöngy leveles hajtások hidroxil-gyökökkel szemben mutatott antioxidáns kapacitását jellemző, különböző módszerek segítségével végzett mérési sorozatok fajok szerinti középértékei szignifikánsan különböznek-e egymástól. Egy ilyen célú vizsgálat feltárhatja a fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásának szignifikáns eltéréseit az egyes fajok szerinti páronkénti összehasonlításokban (*Bolla és Krámlí* 2012). F-próbát hajtottunk végre annak ellenőrzésére, hogy vajon a vizsgált fajokról származó európai fehér fagyöngy antioxidáns kapacitására különböző módszerek segítségével végzett mérési sorozatok fajok szerinti átlagos értékei szignifikánsan eltérnek-e egymástól. Ha az eltérés szignifikáns, akkor az átlagok egyezőségére vonatkozó 0-hipotézisünket elvetjük (*Tukey* 1953). Ekkor, és csak ekkor alkalmazhatjuk a Tukey-próbát annak eldöntésére, hogy konkrétan mely fajokról származó európai fehér fagyöngy leveles hajtásainak antioxidáns kapacitásai között tapasztalható szignifikáns eltérés. Ezt követően a kapott értékeket összevetettük azon célból, hogy megállapíthassuk, vajon ezen eltérések túllépnek-e egy kritikus szintet, azaz szignifikánsak-e. Ha a fajok páronkénti átlagai közötti eltérés túllépi a küszöbértéket, akkor azt mondjuk, hogy a tényleges eltérés szignifikáns. Amikor a Tukey-próbával összehasonlítjuk a leveles hajtások vizsgált fajok szerinti paramétereinek páronkénti csoportátlagait, akkor a páronkénti csoportátlagok eltéréseiben nemcsak az egyedi hatást (az aktuális két faj hatását), hanem a közös hatást (a többi faj hatását) is figyelembe vesszük. A Tukey-próba végrehajtásakor először meghatározzuk az összes lehetséges csoportpár átlagai közötti eltéréseket, majd összevetjük őket a következő statisztikával:

$$\text{HSD} = q\sqrt{(\text{MS}_w)/n},$$

ahol:  $q$  – a megfelelő szabadsági fokú studentizált értékkészlet statisztika, melynek aktuális értéke táblázatból kikereshető;  $\text{MS}_w$  – a csoporton belüli átlagos négyzetes eltérés, mely az ANOVA végrehajtásakor már ismert;  $n$  – a csoporton belüli mintaelemek száma (Tukey 1953, Matyasovszky et al. 2011, Makra et al. 2016).

### Eredmények és következtetések

A vizsgált fajokról származó európai fehér fagyöngy leveles hajtások antioxidáns kapacitását az egyes fajok szerinti páronkénti összehasonlításban elsőként a DPPH-módszer alkalmazásával tanulmányoztuk (3. ábra).

3. ábra: DPPH módszerrel meghatározott antioxidáns hatás (%) eredmények

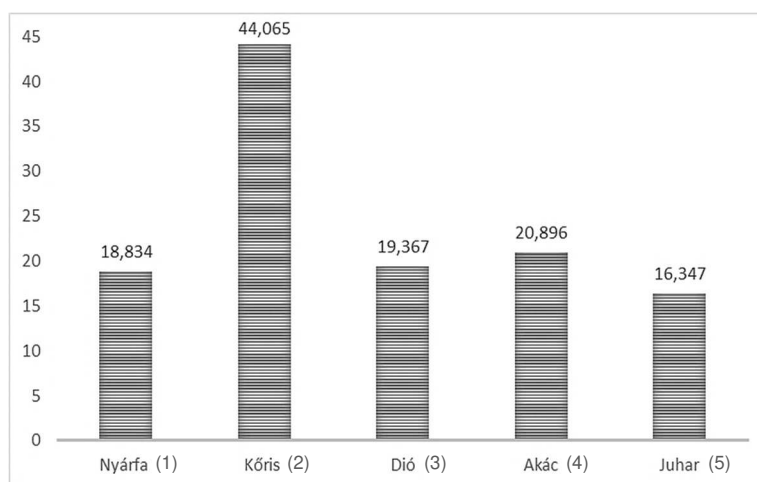


Figure 3. Antioxidant activity (%) results determined using the DPPH method. (1) Poplar, (2) Ash, (3) Walnut, (4) Acacia, (5) Maple

Megállapítottuk, hogy a nyár illetve a kőris, továbbá a kőris illetve a dió, a kőris illetve az akác, valamint a kőris illetve a juhar fajokról származó fehér fagyöngy antioxidáns kapacitása szignifikánsan különbözik egymástól (3a. táblázat). Ugyanezt a vizsgálatot a FRAP módszer segítségével is elvégeztük (4. ábra) azt kaptuk, hogy a nyár, illetve a kőris, a nyár, illetve a dió, valamint

a nyár, illetve a juhar, továbbá a kőris, illetve a dió, a kőris, illetve az akác, valamint a kőris, illetve a juhar fajokról származó fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásai között szignifikáns eltérés tapasztalható (3b. táblázat).

3a. táblázat. A fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásának összevetése a vizsgált fajokon a DPPH módszer alkalmazásával az ANOVA és a Tukey próba alapján

	A			
B	X		B	
C		X		C
D		X		D
E		X		E

Megjegyzés: X szignifikáns a  $p < 0,01$ -os valószínűségi szinten. Jelmagyarázat: A: nyár (*Populus*), B: kőris (*Fraxinus*), C: dió (*Juglans*), D: akác (*Robinia*), E: juhar (*Acer*).

Table 3a. Comparison of the antioxidant capacity of European mistletoe on the tested tree species using the DPPH method based on ANOVA and Tukey's test. Note: X is significant at the  $p < 0.01$  probability level. Legend: A: poplar (*Populus*), B: ash (*Fraxinus*), C: walnut (*Juglans*), D: acacia (*Robinia*), E: maple (*Acer*).

4. ábra: FRAP módszerrel meghatározott antioxidáns hatás (mg/g) eredmények

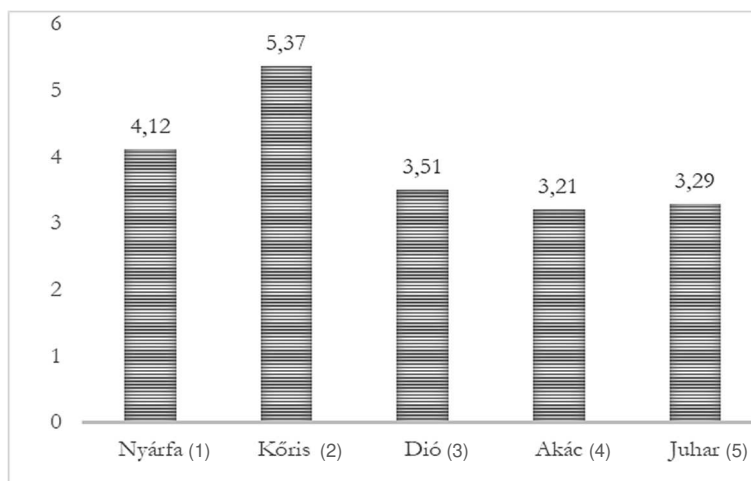


Figure 4. Antioxidant activity ( $\text{mg g}^{-1}$ ) results determined using the FRAP method. (1) Poplar, (2) Ash, (3) Walnut, (4) Acacia, (5) Maple

3b. táblázat. A fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásának összevetése a vizsgált fajokon a FRAP módszer alkalmazásával az ANOVA és a Tukey próba alapján (nyers adatok)

	A				
B	X			B	
C	X	X			C
D	X	X			D
E	X	X			E

Megjegyzés: X szignifikáns a  $p < 0,01$ -os valószínűségi szinten. Jelmagyarázat: A: nyár (*Populus*), B: kőris (*Fraxinus*), C: dió (*Juglans*), D: akác (*Robinia*), E: juhar (*Acer*).

Table 3b. Comparison of the antioxidant capacity of European mistletoe on the tested tree species using the FRAP method based on ANOVA and Tukey's test (raw data). Note: X is significant at the  $p < 0.01$  probability level. Legend: A: poplar (*Populus*), B: ash (*Fraxinus*), C: walnut (*Juglans*), D: acacia (*Robinia*), E: maple (*Acer*).

Végül ugyanezen vizsgálatra a TPC módszert is alkalmazva azt kaptuk, hogy a nyár, illetve a kőris, a nyár, illetve az akác, továbbá a kőris, illetve a dió, a kőris, illetve az akác, valamint a kőris, illetve a juhar, továbbá az akác, illetve a juhar fajokról származó fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásai szignifikánsan eltérnek egymástól (5. ábra, 3c. táblázat).

Mindhárom módszer alkalmazásával kapott eredményeinkben és az összes páronkénti összehasonlításban is a magas kőrisről szedett fehér fagyöngy antioxidáns kapacitása szignifikánsan nagyobb volt a többi fajról szedettekénél (3–5. ábra). Ez megegyezik Vicas et al. (2012) publikált tanulmányának eredményeivel, melyben ugyancsak a kőrisről származó minták összes fenolsav tartalmának tulajdonított antioxidáns hatást értékelte kiemelkedőnek.

A jövőben kivitelezhetőnek tartunk olyan, a jelenlegi elterjedési területen lévő, rigóvonulási utakba eső, legalább 80 m tengerszint feletti magasságon, zárt területen lévő magas kőrisligetek telepítését, ahol elősegíthetjük az európai fehér fagyöngy szaporodását és természetét. Az irányított természetből begyűjtött fehér fagyöngy leveles hajtásokat a tanulmányunk eredményei alapján a gyógynövénytermesztés, és ezen keresztül a gyógyszeripar egyaránt hasznosíthatja.

5. ábra. TPC módszerrel meghatározott antioxidáns hatás (mg/g) eredmények

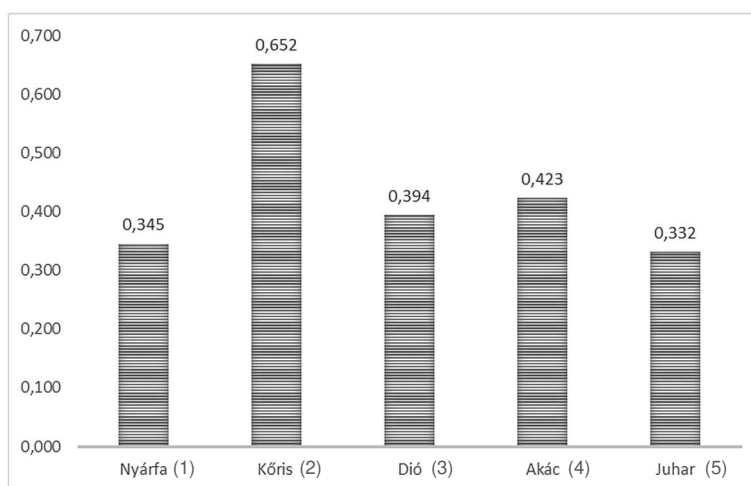


Figure 5. Antioxidant activity ( $\text{mg g}^{-1}$ ) results determined using the TPC method. (1) Poplar, (2) Ash, (3) Walnut, (4) Acacia, (5) Maple

3c. táblázat. A fehér fagyöngy antioxidáns kapacitásának összevetése a vizsgált fajokon a TPC módszer alkalmazásával az ANOVA és a Tukey próba alapján

	A			
B	X		B	
C		X	C	
D	X	X		D
E		X		X

Megjegyzés: X szignifikáns a  $p < 0,01$ -os valószínűségi szinten, X szignifikáns a  $p < 0,05$ -os valószínűségi szinten. Jelmagyarázat: A: nyár (*Populus*), B: kóris (*Fraxinus*), C: dió (*Juglans*), D: akác (*Robinia*), E: juhar (*Acer*).

Table 3c. Comparison of the antioxidant capacity of European mistletoe on the tested tree species using the TPC method with ANOVA and Tukey's test. Note: X is significant at  $p < 0.01$  probability level, X is significant at  $p < 0.05$  probability level. Legend: A: poplar (*Populus*), B: ash (*Fraxinus*), C: walnut (*Juglans*), D: acacia (*Robinia*), E: maple (*Acer*).

## IRODALOM

- Apak, R.–Guclu, K.–Demirata, B.–Ozyurek, M.–Celik, S. E.–Bektasoglu, B.–Berker, K. I.–Ozyurt, D.: 2007. Comparative evaluation of various total antioxidant capacity assays applied to phenolic compounds with the CUPRAC assay. *Molecules*. 12: 1496–1547.
- Balogh E.: 2010. Antioxidáns kapacitás meghatározása és ennek kialakításában szerepet játszó vegyületek vizsgálata bogycsücsök gyümölcsök esetében. PhD doktori értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem.
- Barney, C. W.–Hawksworth, F. G.–Geils, B. W.: 1998. Hosts of *Viscum album*. *Eur. J. For. Path.* 28: 187–208.
- Benzie, I. F. F.–Strain, J. J.: 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*. 239: 70–76.
- Blois, M. S.: 1958. Antioxidant determination by the use of stable free radicals. *Nature*. 181: 1199–2000.
- Bolla M.–Krámlí A.: 2012. Statisztikai következtetések elmélete. Második, javított kiadás. Typotex. Budapest. 416.
- Dietrich, J. B.–Ribereau-Gayon, G.–Jun, M. L.–Franz, H.–Beck, J. P.–Anton, R.: 1992. Identity of the N-terminal sequences of the three A chains of mistletoe (*Viscum album* L.) lectins: homology with ricin-like plant toxins and single-chain ribosome-inhibiting proteins. *Anticancer Drug*. 3: 507–511.
- Gillich N.–Krüzselyi D.: 2014. Illóolajok antioxidáns és antibakteriális hatásai. *Élet és Tudomány*. 51–52.
- Hajtó T.: 2002. Egy növényi lektin (VAA1) immunmodulációs hatásának in vivo vizsgálata egér timocitákon. PhD tézis – tervezet. PTE ÁOK Immunológiai és Biotechnológiai Intézet.
- Huang, D.–Ou, B.–Prior, R. L.: 2005. The chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 53: 1841–1856.
- Makra, L.–Matyasovszky, I.–Tusnád, G.–Wang, Y. Q.–Csépe, Z.–Bozóki, Z.–Nyúl, G. L.–Erostyák, J.–Bodnár, K.–Süsmegh, Z.–Vogel, H.–Pauling, A.–Páldy, A.–Magyar, D.–Mányoki, G.–Bergmann, K. C.–Bonini, M.–Škoparija, B.–Radiši, P.–Gehrig, R.–Kofol Seliger, A.–Stjepanović, B.–Rodinkova, V.–Prikhodko, A.–Maleeva, A.–Severova, E.–Ščevková, J.–Ivanović, N.–Peternel, R.–Thibaudon, M.: 2016. Biogeographical estimates of allergenic pollen transport over regional scales: common ragweed and Szeged, Hungary as a test case. *Agricultural and Forest Meteorology*. 221: 94–110.
- Matyasovszky, I.–Makra, L.–Bálint, B.–Guba, Z.–Süsmeghy, Z.: 2011. Multivariate analysis of respiratory problems and their connection with meteorological parameters and the main biological and chemical air pollutants. *Atmospheric Environment*. 45: 4152–4159.

- Net1*: Magyarország edényes növényfajainak online adatbázisa. <http://floraatlasz.uni-sopron.hu/index.php?map>
- Sharon, N.*: 1984. Carbohydrates as recognition determinants in phagocytosis and in lectin-mediated killing of target cells. *Biol. Cell.* 51: 239–246.
- Singleton, V. L.–Rossi, J. A.*: 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture.* 16: 144–158.
- Svirbelf, J. L.–Szent-Györgyi, A.*: 1932. The Chemical Nature Of Vitamin C. April 25th, 1932. Part of the National Library of Medicine collection. Accessed March 2021.
- Szepessy I.*: 1977. Növénybetegségek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 99.
- Tukey, J. W.*: 1953. The problem of multiple comparisons. Unpublished manuscript. [In: Braun, H. I. (ed.) The Collected Works of John W. Tukey VIII. Multiple Comparisons: 1948–1983.] Chapman and Hall. New York. 300.
- Varga I.*: 2013. A fehér fagyöngy (*Viscum album*) magyarországi elterjedése és egyik kórokozója, a *Phaeobotryosphaeria visci* tulajdonságainak feltárása a biológiai védekezés szempontjából. PhD doktori értekezés. Pannon Egyetem Georgikon Kar. Keszthely.
- Vicas, S. I.–Rugina, D.–Socaciu, C.*: 2012. Antioxidant Activity of European Mistletoe (*Viscum album*). *Phytochemicals as Nutraceuticals – Global Approaches to Their Role in Nutrition and Health.* 115–134.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Dr. Lantos Ferenc – Ormódi Béla Márton  
Szegei Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar  
Növénytudományi és Környezetvédelmi Intézet  
Hódmezővásárhely  
Andrássy út 15.  
H-6800  
lantos.ferenc@mgk.u-szeged.hu

Dr. Makra László  
Szegei Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar  
Gazdálkodási és Vidékfejlesztési Intézet  
Hódmezővásárhely  
Andrássy út 15.  
H-6800



Dr. Hajtó Tibor  
Pécsi Tudományegyetem Általános Orvostudományi Kar  
Gyógyszerészi Kémiai Intézet  
Pécs  
Szigeti út 12.  
H-7624

Dr. Csizmadia Ágnes  
Aryan Természetgyógyász Oktató- és Egészségnevelő Központ  
Szentés  
Nyár u. 19.  
H-6600

Dr. Krisch Judit  
Szegedi Tudományegyetem Mérnöki Kar  
Élelmiszermérnöki Intézet  
Szeged  
Mars tér 7.  
H-6724

**Az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárvakártétel hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésének mennyiségi és minőségi paramétereire szántóföldi tartamkísérletben**

SZABÓ ATALA - ILLÉS ÁRPÁD - BOJTOR CSABA - SZÉLES ADRIENN -  
ZELENÁK ANNABELLA - NAGY JÁNOS  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

**Összefoglalás**

A növekvő népesség mellett a szélsőséges időjárási hatások is szükségessé teszik a kukoricatermesztés folyamatos fejlesztését. A sikeres és megfelelő terméseredményeket produkáló kukorica termesztés egyik legnagyobb gátja az amerikai kukoricabogár kártételének negatív hatása, ezért megkerülhetetlen ezen destruktív rovarok által okozott károsodások felvételezése és az eredmények értékelése, valamint a gyakorlati úton való hasznosításuk. Ezért a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén 2020-ban vizsgálat alá került az amerikai kukoricabogár diverzáns hatása. A kísérletünkben azt vizsgáltuk, hogy eltérő érésidejű FAO 330 (H1), FAO 490 (H2), FAO 490 (H3) kukoricahibridek esetében, eltérő N-dózis ( $N_{0/120/300+PK}$ ) és talajnedvesség mellett, milyen mértékű volt az amerikai kukoricabogár lárvákártétele. Az eredmények szerint kimutatható a kukoricabogár lárvákártétel mértéke a gyökér szakítóellenállás vizsgálatával, illetve a TDR nedvességmérő eszköz segítségével. A 0 kg/ha N-szinten volt a legkisebb a gyökér szakítóellenállás értéke (78,2 kg). A TDR mért paramétere alapján a 0 kg/ha N-szinten a nagyobb nedvességtartalom (26,3 V/V%) kedvezett a kukoricalárva károsításának. A növekvő N-ellátás magasabb termést eredményezett, amit a varianciaanalízis eredményei is bizonyítottak. A 120 kg/ha N és a 300 kg/ha N-hatóanyag dózis között különbség statisztikailag nem volt kimutatható. A regresszióanalízis a fehérjetartalom és a talajnedvesség között pozitív, szoros kapcsolatot jelzett ( $r=0,71$ ).

**Kulcsszavak:** *Diabrotica v. virgifera*, kukorica, talajnedvesség, tartamkísérlet, tápanyag-utánpótlás

### **Effect of Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) larval damage on quantitative and qualitative parameters of maize (*Zea mays* L.) yield in a field trial**

A. SZABÓ – Á. ILLÉS – CS. BOJTOR – A. SZÉLES – A. ZELENÁK – J. NAGY  
University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision  
Farming Technology, Debrecen

#### **Summary**

In addition to a growing population, extreme weather conditions also require the continuous development of maize production. The negative impact of Western corn rootworm damage is one of the biggest obstacles to successful maize production with good yields, and it is therefore essential to record the damage caused by these destructive insects, evaluate the results and put them to practical use. For this reason, the diversification effect of the Western corn rootworm was investigated at the University of Debrecen's Látókép Crop Production Experimental Station in 2020. In our experiment, we investigated the extent of damage by Western corn rootworm larvae in maize hybrids of different maturity FAO 330 (H1), FAO 490 (H2), FAO 490 (H3), at different N-dosage ( $N_{0/120/300}+PK$ ) and soil moisture. The results showed that the extent of corn rootworm larvae damage can be detected by root tensile resistance test and TDR moisture meter. Root lodging resistance was lowest at the 0 kg ha<sup>-1</sup> N level (78.2 kg). Based on the measured parameters of the TDR, the higher moisture content (26.3 V/V%) at the 0 kg ha<sup>-1</sup> N level favoured the damage done by the insects in the maize stover. Increasing N supply resulted in higher yields, as confirmed by the results of analysis of variance. No significant difference was observed between the 120 kg ha<sup>-1</sup> N and the 300 kg ha<sup>-1</sup> N doses. Regression analysis indicated a positive, strong relationship between protein content and soil moisture ( $r=0.71$ ).

**Key words:** *Diabrotica v. virgifera*, maize, soil moisture, long-term experiment, nutrient replenishment

**Влияние вреда личинки западного (американского) кукурузного жука диабротика (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) на количественные и качественные параметры урожая кукурузы (*Zea mays* L.) в папшенном продолжительном опыте**

А. САБО – А. ИЛЛЕШ – Ч. БОЙТОР – А. СЕЛЕШ – А. ЗЕЛЕНАК – Я. НАДЬ  
Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и  
Экологического Менеджмента, Институт Землепользования, Технический и  
Прецизионной Технологии, Дебрецен

**Резюме**

Наряду с растущим населением экстремальные влияния погоды также делают необходимым постоянное развитие выращивания кукурузы. Одной из самых больших преград выращивания кукурузы, дающего успешный и соответствующий урожай, является негативное влияние ущерба, причинённого западным кукурузным жуком, поэтому неизбежны учёт и оценка причиненного вреда этими деструктивными насекомыми, и практическое использование этого. Поэтому на Опытной Растениеводческой Базе Дебреценского Университета в Латокеши в 2020 году исследовали вредное влияние западного кукурузного жука диабротика. В нашем опыте исследовали, что в случае кукурузных гибридов различного времени созревания FAO 330 (H1), FAO 490 (H2), FAO 490 (H3), различных доз N ( $N_{0/120/300}+PK$ ) и влажности почвы, какого размера был вред, причинённый личинкой кукурузного жука. Согласно результатам можно было показать размер вреда личинки западного кукурузного жука исследованием сопротивления разрыва корня, а также с помощью прибора измеряющего влажность TDR. На уровне азота 0 kg/ha был самый маленький показатель сопротивления разрыву корня (78,2 kg). На основе измеренных TDR параметров на уровне азота 0 kg/ha самое большое содержание влаги (26,3 V/V%) благоприятствовало ущербу, причиненному личинкой западного кукурузного жука. Растущее обеспечение N привело к более высоким результатам урожая, что подтвердили и результаты вариантного (дисперсионного) анализа. Среди доз

действующего вещества N 120 kg/ha и 300 kg/ha статистически невозможно было показать разницу. Анализ регрессии между содержанием белка и влажностью почвы позитивный, показал тесную связь ( $r=0,71$ ).

**Ключевые слова:** *Diabrotica v. virgifera*, кукуруза, влажность почвы, продолжительный опыт, внесение питательного вещества

### Bevezetés

A kukoricatermesztés egyre nagyobb szerepet tölt be a világ élelmezésében, a növekedő népesség megkerülhetlenné teszi a stabil, növekvő volumenű kukoricatermést. Ahhoz, hogy megfelelő hozamokat, terméshozamot tudjunk elérni, elengedhetetlen a harmonikus tápanyagutánpótlás. Emellett fontos az adott ökológiai feltételekhez és termelési célokhoz legjobban illeszkedő hibrid kiválasztása is.

Az elmúlt időszakra jellemző a hektikus időjárás, így az optimális tápanyagellátás fontossága környezetvédelmi és gazdasági aspektusból elengedhetetlen (Ványiné és Nagy 2012).

Az Egyesült Államok Mezőgazdasági Minisztériumának (USDA) becslései adatai szerint 2020-ban a világ összes kukoricatermése 1,14 milliárd tonna volt, 197 millió hektáron, 5,81 t/ha átlaggal. Az Európai Unió (EU) becslései adatai szerint a termőterülete 8,8 millió hektár volt 2020-ban, ahol 64,2 millió tonnát termeltek, 7,23 t/ha átlaggal. Magyarországon a kukorica vetésterülete 1,007 millió hektár volt, ahonnan 8,1 millió tonnát takarítottak be, 8,13 t/ha átlaggal (USDA 2020).

A gazdaságos kukoricatermesztésnek számos feltétele van. Ilyen kritérium az adott ökológiai viszonyokhoz legjobban alkalmazkodó, kedvező vízleadóképességű hibridek termesztése. Hasonlóan kiemelt tényező a megfelelő vetésváltás, a szerkezeti adottságokhoz igazított öntözés, a harmonikus tápanyag-visszapótlás, a kukorica igényének megfelelő, víztakarékos talajművelés, az optimális növényszám biztosítása, valamint a hatékony növényvédelem (Nagy 2010). Illés et al. (2020) vizsgálták különböző hibridkukoricák NPK-reakcióit. Eredményeik szerint az NPK-kezelések hibridenként eltérő hozamot generáltak. A kukorica nitrogénfelvétele

nagyban függ a talajnedvességtől, a talajban lévő nitrogénformáktól, azok mennyiségétől, valamint az egyéb tápelemek (P, K stb.) felvehetőségétől (Nagy 2006).

A kukoricának bojtos gyökérzete van, amely elsődleges „valódi” gyökérből és a változó számú másodlagos gyökerekből áll (Abbe és Stein 1954). A növény fejlődésének intenzív szakaszában a másodlagos gyökérzet válik dominánssá, mind a víz, mind a tápanyag felvételében (Hochholdinger et al. 2004). A kukorica gyökérrendszer legnagyobb része a talaj felső 50 cm-es rétegében helyezkedik el, ugyanakkor a talaj 2 m-es rétegében kiemelkedő szerepet játszanak a hajszálgyökerek vízfelvétel szempontjából (Nagy 2021). A gyökerek térbeli terjedelmétől is függ a tápanyagok és víz felvétele (Smith és De Smet 2012). A talaj mélyebb rétegeiben a túlzott tömörödöttség mellett a csökkenő talajnedvesség-tartalom korlátozza a kukorica gyökér fejlődését, ezáltal akadályozza a talajnedvesség felvételét is (Withmore et al. 2011).

A gyökérnek kiemelt feladata van a kedvezőtlen környezethez való alkalmazkodásban (Gale és Grigal 1987). Zhang et al. (1997) tanulmányában kimutatta, hogy az alacsony talajnedvesség a gyökerek mélyebb rétegek felé növekedést indukálja, hasonlóan Bengough et al. (2011) is kimutatták, hogy a gyökér megnyúlása fontos a növények növekedése szempontjából, különösen ott, ahol a víz és a tápanyagok alacsony koncentrációban vannak jelen. Kuchenbuch et al. (2006) eredményei szerint a megfelelő talajnedvesség hiánya negatívan befolyásolja a gyökerek növekedését és fejlődését.

A talaj vízháztartásának meghatározásához a talajnedvesség alakulása használható fel. A talajnedvesség változását folyamatos és közvetlen mérésekkel lehet meghatározni. Ilyen mérési módszer a gravimetrikus metódus, ami a leggyakrabban használt és az egyik legfontosabb. A gravimetrikus mérés pontos, viszont nem megismételhető. Az elektromos ellenállási technika szintén elterjed, mivel gyors és egyszerű, viszont nem megfelelő a gyorsan változó folyamatok követésére. Napjainkban is folyik az új módszerek kifejlesztése, melyeknek egyik ága a hullámok talajban való terjedési sebességének mérésén alapuló eljárások. Ilyen a TDR (Time Domain Reflectometry), amely a talajnedvességet a rádiófrekvenciás elektromágneses hullám terjedési sebessége alapján határozza meg (Nagy 2004). Ennek a készüléke a TDR 300, ami egy gyors, könnyen kezelhető nedvességmérő

eszköz, ami  $\pm 0,01$  ( $\text{m}^3/\text{m}^3$ ) pontossággal határozza meg a talaj aktuális nedvességtartalmát (Benor et al. 2013).

A gyökér növekedése összefügg a víz és az ásványi anyagok felvételével. A gyökérzet szerkezetét és felépítését a talaj tulajdonságai nagymértékben befolyásolják. A csernozjom talajon termesztett kukorica jobb növekedési dinamikával és előnyösebb vízfelhasználással rendelkezik (Liu et al. 2012). Zhang et al. (2006) szerint a mély humuszos réteggel rendelkező csernozjom talajok jó fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságokkal rendelkeznek.

Az amerikai kukoricabogár [*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte, 1968 (Coleoptera: Chrysomelidae)] a kukorica egyik fő rovarkártevője (Meinke et al. 2009). Észak-Amerikában és Európában is a kukoricabogár az elsődleges oka a gyenge hozamoknak, emellett magas kockázati tényező a termés stabilitására (Gassmann 2016). A kukoricabogár okozta gyökérkárosodás és a termésveszteség az agronómiai és környezeti feltételektől függően változik (Spike és Tollefson 1989). A múlt század végén Metcalf (1986) becslései szerint éves szinten 1 milliárd USD veszteséget okozott a világon az amerikai kukoricabogár kártétele.

Az amerikai kukoricabogár lárvái leginkább a kukorica gyökereivel táplálkoznak (Branson és Ortman 1970), de több pázsitfűféléen képesek túlélni (Levine és Oloumi-Sedaghi 1991). Az imágók a tojásokat a talaj felső 10-20 cm-ében rakják le (Pruess et al. 1968). A tojások az áttelelést követően, tavasszal kelnek ki. Az első stádiumú lárvák főként a hajszálgyökerekkel táplálkoznak. A második és harmadik stádiumú lárvák megsebzik és járatokat hoznak létre a gyökér kérgében (Riedell és Kim 1990). A lárvák a legfiatalabb gyökereket kedvelik, és gyakran a talaj felszínéhez közel mozogva táplálkoznak az új gyökerek csúcaival (Kahler et al. 1985).

A kukoricabogár lárva többször bizonyította, hogy képes adaptálódni a kártevőkezelési stratégiákhoz (Gray et al. 2009), így idővel rezisztencia kialakult a vetésforgó gyakorlatában (Meinke et al. 1998).

Az olyan technikák, mint például vetésforgó, rovarölő szerek alkalmazása, valamint rezisztens kukorica fajták használata eredményes lehet a védekezés szempontjából. Azonban a megelőzési technikák egy része – bizonyos régiókban – már nem hatékony (Levine et al. 2002).

A kukoricabogár képes ellenállóképesség kialakítására számos védekezési mechanizmussal szemben, beleértve az inszekticideket (Meinke et al. 1998,

*Wright et al.* 2000) és az agrotechnika egyéb elemeit is (*Levine et al.* 2002). A monokultúras területek részarányának hazai csökkenése is azt igazolja, hogy a fő kártevőnek tekinthető lárva ellen a nem mindig kielégítő hatékonyságú növényvédő szeres kezeléseken, valamint az ilyen irányú – biotechnológiai eljárásokat és konvencionális módszereket egyaránt alkalmazó – nemesítői munka egyelőre nem hasznosítható eredményein kívül a vetésváltás a legjobb módja a probléma mérséklésének (*Ripka* 2007, *Szell* 2007).

*Owens et al.* (1974) vizsgálatai szerint a nagyobb gyökérzetű és a nagyobb kompenzációs képességgel bíró kukorica vonalak ellenállóbbak a kukorica bogár lárva kártételének. *Pikul et al.* (2005) eredményei szerint a magas N-dózis (260 kg/ha N) mellett nagyobb lárvakártétel volt mérhető, mint a N nélküli kísérleti parcellában. *Árendás et al.* (2009) kísérlete szerint – melyet speciális kétkarú emelő segítségével végeztek, parcellánként 10 db növényen – a gyökér méretével pozitív, a lárvakárosítás mértékével negatív összefüggést mutatott a kiemeléshez szükséges erő nagysága.

Amerikai vizsgálatok szerint a lárva károsítása akkor minősül gazdasági kárnak, ha mértéke eléri az 1–6 fokozatú IOWA-skálán a 3,5-et (*Davis* 1994). *Marton et al.* (2008) vizsgálták a gyökér szakítóellenállás mértékét. Eredményeiket a látható gyökérkárosodás mértékét adó IOWA-skála alapján (1: nincs károsodás, 6: három vagy több gyökérszint károsítása) értékelték. Konklúziójuk szerint a beltenyésztett kukorica vonalak gyökérmérete és gyökérellellállási képessége kisebb volt, mint a hibrideké.

Célunk annak kiderítése volt, hogy a különböző tenészszerű kukorica hibridek eltérő tápanyagszinteken hogyan reagálnak a legjelentősebb kukoricakártevő, amerikai kukoricabogár lárva kártételére, változik-e az ellenállóképesség az ellátottság és a genotípus függvényében?

### **Anyag és módszer**

A vizsgálatot a 2020-as tenészezőben a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén végeztük, ami a 33-as főút mellett (É.sz. 47°33', K.h. 21°27'), Debrecentől 11 km-re, a Hajdúsági löszháton található. A terület talaja mészlepedékes csernozjom, amely jó állapotú, Arany-féle kötöttségi száma alapján vályog fizikai féleség kategóriába sorolható.



Humusztartalma átlagosan 2,8%, kémhatása közel semleges ( $\text{pH}_{\text{KCl}}=6,2$ ), valamint kedvező vízgazdálkodási tulajdonságokkal bír.

A kukorica fejlődése szempontjából az egyik legfontosabb meteorológiai tényező a csapadék mennyisége és eloszlása. A kukorica kezdeti fejlődése 2020-ban vontatott volt a száraz időjárás miatt. A júliusi csapadék a sokévi átlaghoz (65,7 mm) viszonyítva megkétszereződött (147,5 mm), ami kielégítette a kukorica virágzásának-szemtelítődésének időszakában a növények vízigényét (1. ábra).

1. ábra. A csapadék sokéves átlaga (1981–2010) és 2020. évi mennyisége a kukorica tenyészidőszakában (IV–IX.) (Látókép, 2020)

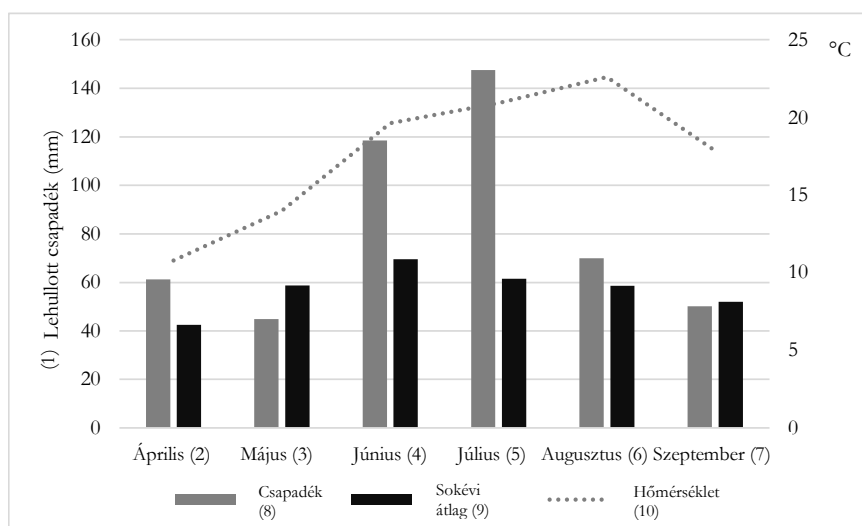


Figure 2. Multi-year average (1981–2010) and 2020 precipitation in the maize growing season (IV–IX) (Látókép, 2020). (1) Precipitation (mm), (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) September, (8) Precipitation, (9) Multi-year average, (10) Temperature

Áprilisban a napi középhőmérséklet átlaga (6 °C) alacsonyabb volt, mint a sokévi átlag (10,7 °C), ami nem volt optimális a kukorica keléséhez, mindemellett a kelés időszakának szárazsága is gátolta a homogén csírázást. A nyári hónapokban (június-július) a napi átlaghőmérsékletek a kukorica optimális fejlődéséhez kedvezőek voltak.

A vetés 2020. április 17-én, a gyomirtás május 27-én történt posztemergens gyomirtó szerrel (Laudis 2 l/ha). A sorközművelés június 6-án, a betakarítás október 23-án volt.

A vizsgált tápanyagszintek N-, P- és K-dózisai:

- tápanyagszint 1 = 0 kg/ha N, 0 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0 kg/ha K<sub>2</sub>O;
- tápanyagszint 2 = 120 kg/ha N, 184 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 216 kg/ha K<sub>2</sub>O;
- tápanyagszint 3 = 300 kg/ha N, 184 kg/ha P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 216 kg/ha K<sub>2</sub>O.

A talajnedvesség mérést TDR 300 Fieldscout eszközzel a 0–20 cm-es talajrétegben, a gyökér szakítóellenállás méréseket speciális kétkarú emelő alkalmazásával, 2020. 07. 16-án végeztük. A készülék a térfogati víztartalmat (VWC-t) a nullától a telítettségig terjedő tartományában 0,1%-os felbontással és ±3,0%-os pontossággal méri, amikor a nedvesítő oldat elektromos vezetőképessége (EC) kevesebb, mint 2 dS/m (*Fieldscout TDR 300 kézikönyv* 2009). Alapelve a hullámvezető mentén az EM hullám haladási idejének mérése. A talajon keresztül le- és visszafelé haladó nagy energiájú jel visszatérését érzékeli a hullámvezető mentén, és a nagyfrekvenciás információkat ezután VWC-vé alakítja (*Spectrum Technologies* 2009).

Az amerikai kukoricabogár lárvakártétel felvételezését a tüneteket mutató növényeken végeztük. A lárvakártétel meghatározása a kukorica nővirágzás *Hanway* (1966) féle 5-ös fenofázisában történt, módosított IOWA skála által (*Eppo* 1999).

A szervesanyag-, fehérje-, olaj-, keményítő- és nedvességtartalom mennyiséget a Perten-Inframatic 9520 gabonavizsgálóval határoztuk meg. A készülék 750–1100 nm közeli infravörös (NIR) hullámhosszúságon méri be a mintákat (*Net1* 2021).

A kísérlet kéttényezős, sávos elrendezésű, négy ismétlésben beállított kispárcellás szántóföldi tartamkísérlet, amely lehetővé teszi az adatok megfelelő kiértékelését. A statisztikai vizsgálatokat R 3.2.4. statisztikai környezetben (*Team* 2016a), RStudio (*Team* 2016b) grafikus felület segítségével végeztük. Az eredmények értékeléséhez egy- és többtényezős varianciaanalízist, SzD tesztet, korrelációanalízist és lineáris regresszióanalízist alkalmaztunk. A grafikonokat Ms Excel 2019 programmal készítettük.

### Eredmények

Az IOWA-skála gyökérbontítási rendszer alapján a legnagyobb gyökérvárosodás a H2 és H3 hibrid esetében a 0 kg/ha N szint mellett volt kimutatható (5,3). A legalacsonyabb gyökérvárosodási mérték a H2 hibrid 300 kg/ha N dózis mellett volt mérhető (3,5) (1. táblázat).

1. táblázat. Az IOWA (1–6) skála szerinti gyökérvárosodás vizsgálata eltérő N-dózisok között (Debrecen, 2020)

N (kg/ha)	Hibridek		
	H1	H2	H3
N <sub>0</sub>	5,3	5,3	5,7
	5,3	5,2	5,0
	4,7	5,7	5,1
	5,2	4,8	5,3
Átlag (2)	5,1	5,3	5,3
N <sub>120</sub>	4,1	4,7	4,9
	4,7	4,7	4,6
	4,6	4,0	4,1
	4,0	5,0	4,8
Átlag (2)	4,4	4,6	4,6
N <sub>300</sub>	3,5	3,5	3,6
	3,9	3,2	4,1
	4,0	3,7	4,0
	4,5	3,7	3,0
Átlag (2)	4,0	3,5	3,7

Table 1. IOWA (1-6) scale root damage assessment under different N doses (Debrecen, 2020). (1) Hybrids, (2) Average

A varianciaanalízis a gyökér szakítóellenállás értékeinél a hibridek között nem mutatott ki statisztikailag igazolható eltérést (0,64), míg az NPK (53,020\*\*\*), illetve a hibrid×NPK (4,312\*\*) hatás 95%-os konfidencia intervallum mellett statisztikailag igazolható volt (2. táblázat).

2. táblázat. A vizsgált paraméterek (gyökér szakítóellenállás, TDR talajnedvesség, termés, fehérje-, olaj-, keményítő- és nedvességtartalom) varianciaanalízisének eredményei (F-értékek) (Debrecen, 2020)

	df	Gyökér szakító- ellenállás (kg) (1)	TDR talaj- nedvesség (V/V%) (2)	Termés (t/ha) (3)	Olaj (%) (4)	Fehérje (%) (5)	Nedves- ség (%) (6)	Kemé- nyítő (%) (7)
Hibrid (8)	2	0,444 p=0,646	15,825 p=0,000	2,669 p=0,089	9,102 p= 0,001	26,413 p= 0,000	5,043 p= 0,014	7,583 p= 0,002
NPK (9)	2	53,020 p=0,000	26,316 p=0,000	82,259 p=0,000	0,605 p= 0,554	89,114 p= 0,000	0,719 p= 0,497	2,427 p= 0,109
Hibrid×NPK (10)	4	4,312 p=0,009	3,041 p=0,036	0,836 p=0,515	0,603 p= 0,664	1,662 p= 0,191	1,17 p= 0,348	1,043 p= 0,405

Megjegyzés: szignifikancia szintek - \*\*\*p<0,001; \*\*p<0,01; \*p<0,05.

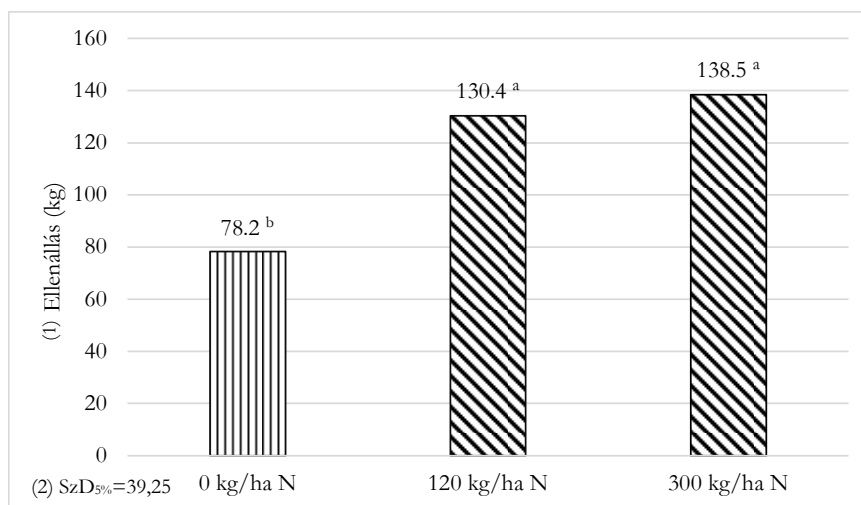
Table 2. Results of analysis of variance (F-values) for the parameters tested (root tensile strength, TDR soil moisture, yield, protein, oil, starch and moisture content) (Debrecen, 2020). (1) Root tensile strength (kg), (2) TDR soil moisture (V/V%), (3) Yield (t per ha), (4) Oil content (%), (5) Protein (%), (6) Moisture (%), (7) Starch (%), (8) Hybrid, (9) NPK, (10) Hybrid×NPK, Note: levels of significance - \*\*\*p<0.001, \*\*p<0.01, \*p<0.05.

A TDR-rel mért nedvességtartalom a hibrid (15,825\*\*\*), az NPK (26,316\*\*\*), valamint a hibrid×NPK (3,041\*) hatások tekintetében is igazolhatóan változott. A terméseredményre vonatkoztatva az NPK (82,259\*\*\*) hatás volt statisztikailag bizonyítható. A hibrid (2,669), illetve hibrid×műtrágyázás (0,836) hatásoknál nem volt statisztikailag kimutatható eltérés. Az olajtartalom szerint a hibridek közötti (9,102\*\*) mutatkozott igazolható differencia, az NPK (0,605), illetve a hibrid×műtrágyázás (0,603) hatásoknál nem volt kimutatható különbség. A fehérjetartalomra a hibrid- (26,413\*\*\*) és az NPK-hatás (89,114\*\*\*) is számottevő, a hibrid×műtrágyázás (1,662) kölcsönhatás nem volt bizonyítható. A kukorica betakarításkori nedvességtartalmában a hibridek közötti különbség (5,043\*) eltérést eredményezett, NPK (0,719), és hibrid×műtrágya (1,17) hatások nem voltak.

A keményítőtartalomban csak a genotípus (7,583\*\*) eredményezett statisztikailag igazolható eltérést, az NPK (2,427), illetve a hibrid és műtrágyázás (1,043) hatások nem (2. táblázat).

Az SzD<sub>5%</sub> érték (39,25) alapján a 0 kg/ha N-szint statisztikailag igazolhatóan kisebb gyökérellenállási értéket eredményezett (78,2 kg), 40%-kal alacsonyabbat a 120/ha N-szinthez viszonyítva (130,37 kg). A 0 kg/ha N szint statisztikailag 55,7%-kal alacsonyabb (138,47 kg) érték volt mérhető a 300 kg/ha N-szinthez képest. A 95%-os konfidencia intervallum mellett a 120 kg/ha és a 300 kg/ha N-szintek között nem volt statisztikailag igazolható különbség. Az adatpárok pontjaihoz illesztett lineáris függvény determinációs együtthatója  $r^2=0,848$  (2. ábra).

2. ábra. A N-ellátottság hatása a gyökér szakítóellenállásra a hibridek átlagában (Debrecen, 2020)



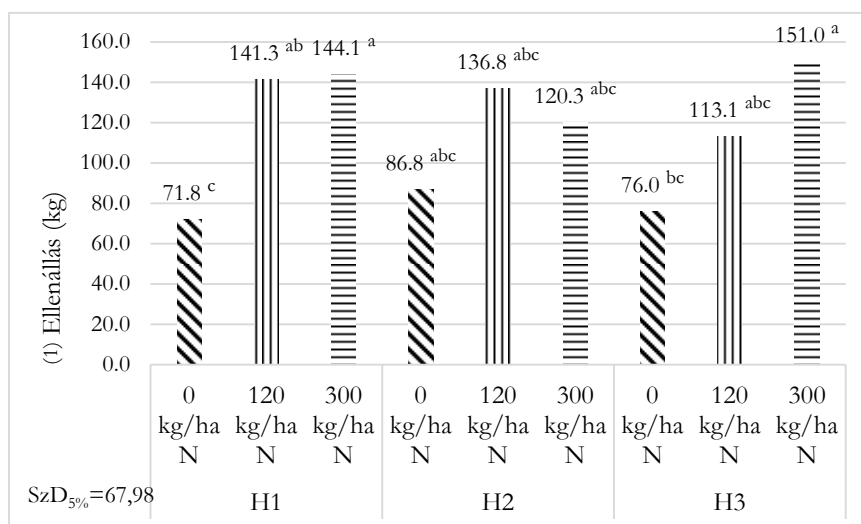
Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 2. Effect of N supply on root tensile resistance averaged over the examined hybrids (Debrecen, 2020). (1) Resistance (kg), (2)  $LSD_{5\%}=39.25$ , Note: values with different letters are statistically different from each other.

A hibrid- és N-hatás együttes vizsgálata alapján a bármely két kombinációra vonatkozó SzD<sub>5%</sub> értéke 67,98 kg. A H2 hibrid a 0, 120 és 300 kg/ha N-szinteken, illetve a H3 120 kg/ha N szinten nem mérhető statisztikailag

igazolható eltérés a többi N-szinthez képest. A H3 hibrid 0 kg/ha N szintje statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb 50%-kal a H3 300 kg/ha N szintjétől, illetve 48%-kal a H1 hibrid 300 kg/ha N szintjétől. A H1 hibrid 0 kg/ha N szintje az  $SzD_{5\%}$  vizsgálat szerint statisztikailag igazolhatóan 53%-kal alacsonyabb a H3 hibrid 300 kg/ha N szintjétől, emellett 50%-kal alacsonyabb értéket mutatott a H1 hibrid 120 kg/ha N és 51%-kal alacsonyabbat a H1 300 kg/ha N-szintjénél. A legalacsonyabb ellenállási értéket a H1 hibrid 0 kg/ha N-szintje, míg a legmagasabbat a H3 hibrid 300 kg/ha N-szintje produkálta (3. ábra).

3. ábra. A N-ellátottság és a genotípus hatása a gyökér szakítóellenállásra (Debrecen, 2020)



Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

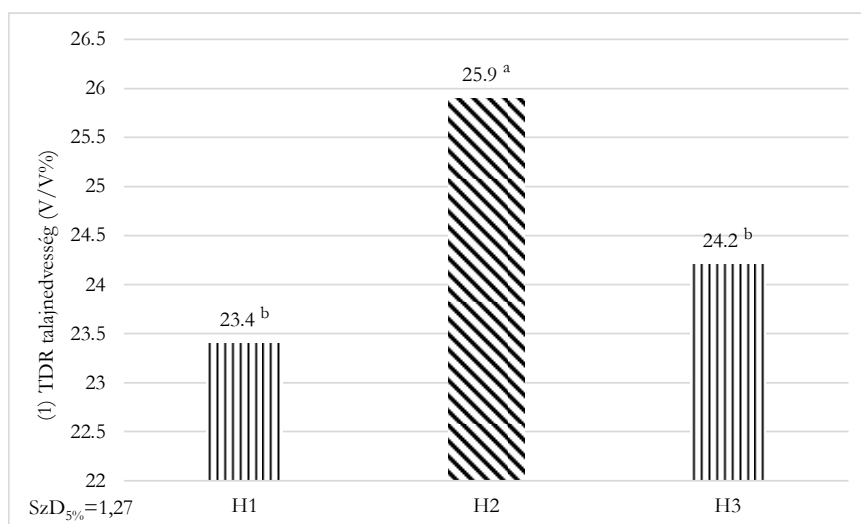
Figure 3. The effect of N-supply and genotype on root tensile strength (Debrecen, 2020). (1) Resistance (kg), (2)  $LSD_{5\%} = 67.98$ , Note: values with different letters are statistically different from each other.

A TDR 300 talajnedvességmérő műszer által mért periódusidővel arányos térfogat% nedvességtartalmat határozza meg.

A hibridek közötti különbség a TDR-vizsgálat eredményeire gyakorolt befolyásának  $SzD_{5\%}$  vizsgálata alapján a legkisebb szignifikáns különbség

értéke 1,27 kg. Ezen tényező szerint a H2 hibrid statisztikailag igazolható eltérést mutatott a H3 és H1 hibridhez viszonyítva. A H2 hibrid (25,9) a H3 hibridhez (24,2) viszonyítva 7%-kal, míg a H1 (23,4) viszonyítva 10%-kal nagyobb TDR eredményt mutatott. A H3 és a H1 hibrid között nem volt igazolható eltérés. Legalacsonyabb értéket a H1 hibrid mutatta, míg a legmagasabb értékkel a H2 hibrid rendelkezett. Az oszlopdiaagramra illeszthető determinációs együttható ( $r^2=0,96$ ) (4. ábra).

4. ábra. A genotípus hatása a talaj 0–20 cm-es rétegének nedvességtartalmára (V/V%) – A TDR talajnedvesség ellenállás és a hibrid hatásának SzD-teszt eredményei (Debrecen, 2020)



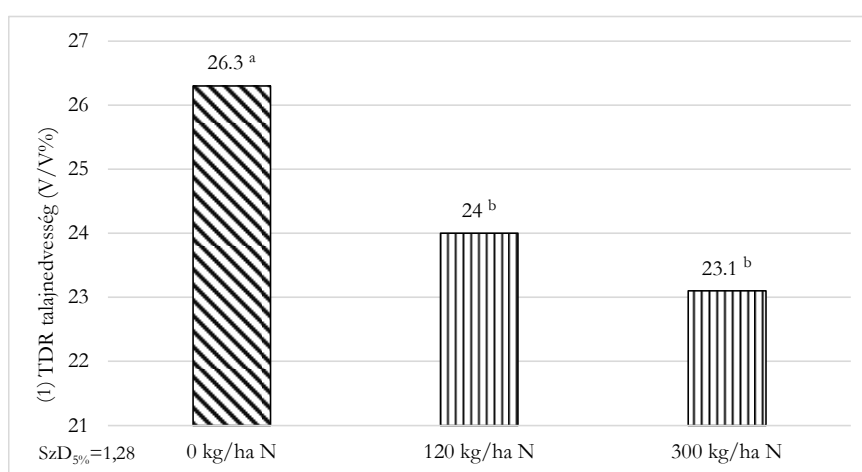
Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 4. Effect of genotype on soil moisture content (V/V%) in the 0–20 cm soil layer – Results of the TDR soil moisture resistance and hybrid effect LSD test (Debrecen, 2020). (1) TDR soil moisture (V/V%), (2) LSD<sub>5%</sub>=1.27, Note: values with different letters are statistically different from each other.

Az SzD<sub>5%</sub> vizsgálat alapján a legkisebb szignifikáns különbség az NPK hatás TDR eredményre gyakorolt befolyása szerint 1,28 V/V%. A 0 kg/ha N-szint statisztikailag eltérő eredményeket okozott a 120 kg/ha N és a 300 kg/ha N-szinthez képest. A 0 kg/ha N szint 9%-kal magasabb TDR eredményt okozott a 120 kg/ha N-szinthez viszonyítva, míg 13%-kal magasabbat a 300 kg/ha N-

szinthez viszonyítva. A 120 kg/ha N és a 300 kg/ha N-szint egymáshoz viszonyítva nem okozott statisztikailag igazolható eltérést. Az oszlopdiagramra illeszthető determinációs együttható  $r^2=0,94$  (5. ábra).

5. ábra. A TDR talajnedvesség ellenállás és a N tápanyagutánpótlás hatásainak SzD-teszt eredményei a hibridek átlagában (Debrecen, 2020)



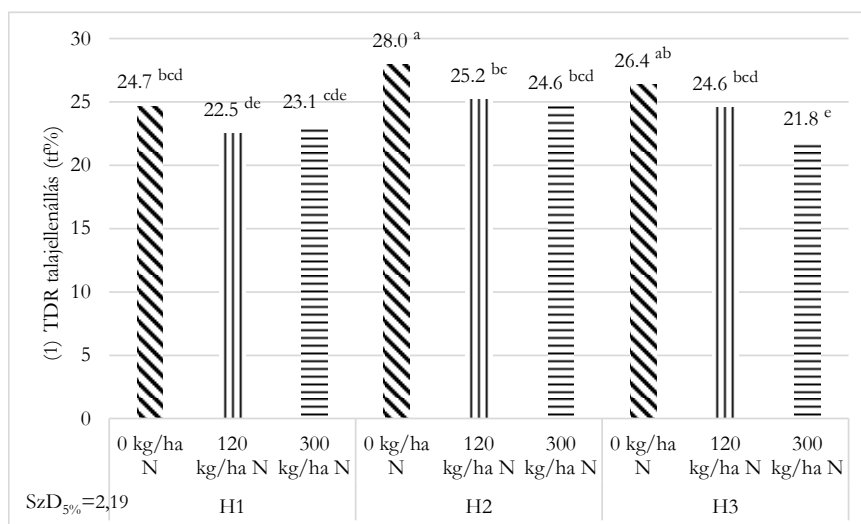
Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 5. Results of the LSD test of the effects of TDR soil moisture resistance and N nutrient addition, averaged over the different hybrids (Debrecen, 2020). (1) TDR soil moisture (V/V%), (2) LSD<sub>5%</sub>=1.28, Note: values with different letters are statistically different from each other.

A hibrid és a műtrágyázás együttes hatás SzD<sub>5%</sub> vizsgálata szerint a legkisebb szignifikáns különbség értéke 2,19 V/V%. A H1 0 kg/ha N, H2 300 kg/ha N, H3 120 kg/ha N szintje között nem volt statisztikailag kimutatható eltérés. Ezen kívül valamennyi hibrid és tápanyagszint vonatkozásában statisztikailag igazolható eltérés mutatkozott (6. ábra).



6. ábra. A TDR talajnedvesség ellenállás, a N tápanyagutánpótlás és a hibrid együttes hatásainak SzD-teszt eredményei (Debrecen, 2020)



Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 6. Results of the LSD test of the combined effects of TDR soil moisture resistance, N nutrient supplementation and hybrid (Debrecen, 2020). (1) TDR soil moisture (vol%), (2) LSD<sub>5%</sub>=2.19, Note: values with different letters are statistically different from each other.

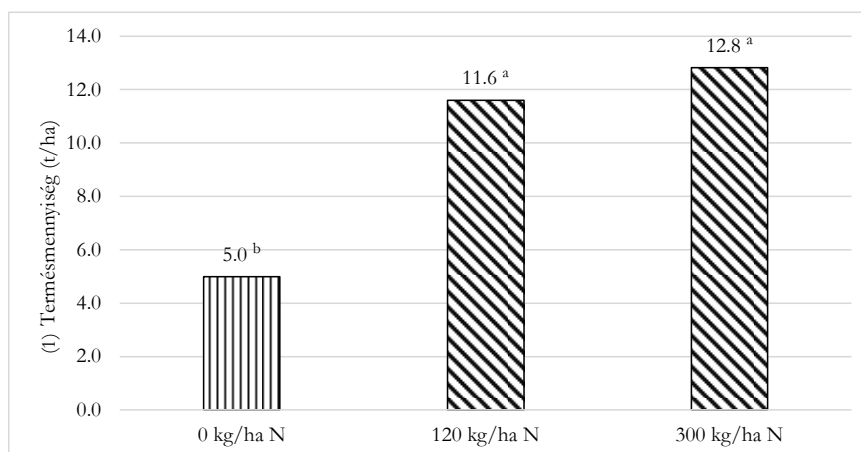
A termés vonatkozásában az N-hatás szignifikáns különbséget okozott a 0 kg/ha N és a 120 kg/ha N között, illetve ugyanígy a 0 kg/ha N és a 300 kg/ha N között. A 120 kg/ha N és a 300 kg/ha N között nem volt statisztikailag igazolható eltérés. A diagram pontjaihoz illeszthető lineáris trendfüggvény egyenletének determinációs együtthatója  $r^2=0,86$  (7. ábra).

A regresszióanalízis vizsgálatok a fehérjetartalom és a TDR determinációs együtthatója  $r=0,71$ , ami alapján pozitív, szoros kapcsolat van.

A termésmennyiség és a talajellenállás korrelációs együtthatója  $r=0,72$ , ami szerint pozitív, erős kapcsolat jellemzi.

Egyes vizsgált tényezők, mint az olajtartalom és TDR, a talajnedvesség és gyökér szakítóellenállás kapcsolatánál gyenge vagy statisztikailag nem igazolható.

7. ábra. A terméseredmény és a N tápanyagutánpótlás hatásának SzD-teszt eredményei a hibridek átlagában (Debrecen, 2020)



Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 7. Results of the LSD test on the yield and the effect of N nutrient supplementation, averaged over the different hybrids (Debrecen, 2020). (1) Yield (t per ha), Note: values with different letters are statistically different from each other.

### Következtetések

*Marton et al.* (2008) kísérleteik alapján, hasonló eredményeket értek el, ugyanis a nagyobb gyökér szakítóellenállású hibridek lényegesen kisebb gyökérvárosodást mutattak, mint a gyengébb gyökér szakítóellenállású kukoricahibridek. Hasonló eredményeket közölt *Marton et al.* (2008), kísérletükben jelentős eltéréseket találtak a hibridek gyökér szakítóellenállás értékeiben eltérő nitrogénellátás hatására. *MacDonald* és *Ellis* (1990) eredményei alapján a nedves talajban a nőstény kukoricabogár peterakás preferenciája miatt ösztönösen teszi, hogy nedvességgel érintkezzen a tojás, mivel a nagyon száraz talaj csökkentheti a fiatal lárvák túlélését (*Krysan* 1978). *Széles et al.* (2015) eredményei is azt mutatják, hogy a növekvő N-dózis nem mindig okozott termésmenővelő hatást, ha a tápanyagok felvételéhez szükséges víz korlátozott volt. A legnagyobb statisztikailag szignifikáns hozam 120 kg/ha N-szinten volt megfigyelhető száraz években, öntözött kezeléseknél. Az öntözésnek jelentős hozamnővelő hatása volt.

Az *Eppo* (1999) által leírt gyökérbonitálási skálarendszert alkalmazva a felvételezett értékek bizonyították az amerikai kukoricabogár lárvákártétel jelenlétét. Összefüggésbe hozható, hogy a H2 és H3 hibridek esetében a 0 kg/ha N hatást gyakorol a gyökér szakítóellenállás mellett a lárvakártétel mértékére (5,3). Jelen vizsgálatunkban a TDR eredmények bizonyították, hogy a hibrid, NPK és ezen két tényező együttes hatása között szignifikáns eltérés igazolható. A vizsgált hibridek közötti különбég vizsgálata és a TDR értékre vonatkozó SzD teszt eredményei alapján a H2 hibridnél volt az igazolhatóan legnagyobb érték (25,9 V/V%). A H2 hibrid hatékonyabb vízhasznosító képességgel rendelkezik, mint a többi hibrid. A TDR és a N-hatás vizsgálat eredményei alapján a 0 kg/ha N szinten volt mérhető a legnagyobb érték (26,3 V/V%), ezen eredmény azt bizonyítja, hogy nitrogén hiányában a kukoricahibrid víz és tápanyag felvétele mérsékeltebb, ezért magasabb a talajnedvesség értéke a 120 kg/ha N és 300 kg/ha N szintekhez viszonyítva.

A TDR ellenállás és a tápanyagutánpótlás, illetve hibrid együttes hatásainak SzD teszteredményei értékelése szerint a H2 hibrid 0 kg/ha N szintjén volt mérhető a legnagyobb nedvesség (28 V/V%) a többi vizsgált komplex tényezőhöz hasonlóan. Az eredmény alátámasztja, hogy a kukoricahibridnek sajátos dinamikus vízfelvevő, hasznosító képessége van, hatékonyabb szárazságtűrő képességgel rendelkezik, aszályos körülményekre jól reagál, még nitrogén hiány esetében is.

A varianciaanalízis eredményei szerint a gyökér szakítóellenállás értékeinél a hibridek között nem mutatott statisztikailag igazolható eltérést, míg az NPK, illetve a hibrid x NPK hatása 95%-os konfidencia intervallum szerint statisztikailag igazolható eltérést eredményezett, ebből adódik, hogy gyakorlati alkalmazás során a hibrid és tápanyagutánpótlás együttes megoldásával befolyásolható a gyökérszövet erőssége, így a szakítószilárdsága.

A gyökér szakítóellenállás és a N-dózis hatásának SzD teszt eredményei igazolták, hogy a legnagyobb N-dózis kijuttatása mellett volt a legnagyobb az ellenállás, amellyel az magyarázható, hogy a növény gyökérszete erős és egészséges. A kukoricalárva kártétele nem bizonyított, emellett a nitrogénnel jobban ellátott parcellákon nem volt bizonyítható lárvakártétel a kukorica gyors gyökér regenerálóképességének köszönhetően.

A varianciaanalízis alapján a gyökér szakítóellenállás értékeinél a hibrid és NPK hatások közül a H3 hibrid 300 kg/ha N-szintjénél volt a legnagyobb ellenállási érték (151 kg), mellyel azt állítható, hogy a legellenállóbb a gyökérvárosító lárva ellen.

A növekvő NPK-ellátás jobb terméseredmény eléréséhez járul hozzá, amit az SzD teszt eredményei is bizonyítanak, vagyis a 0 kg/ha N-szint statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb termést produkált, viszont egy bizonyos szint után már nem biztosít termésnövekedést a kijuttatott tápanyag, ez látható a 120 kg/ha N és a 300 kg/ha N közötti különbség statisztikailag nem igazolható.

### Köszönetnyilvánítás

A TKP2020-IKA-04 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a 2020-4.1.1-TKP2020 pályázati program finanszírozásában és az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 sz. projekt Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

### IRODALOM

- Abbe, E. C.–Stein, O. L.: 1954. The origin of the shoot apex in maize: embryogeny. American Journal of Botany. 41: 285–293.
- Árendás T.–Bónis P.–Szőke Cs.–Vuts J.–Tóth M.: 2009. A kukoricabogár (*Diabrotica v. virgifera* LeConte) kártétele és az imágó rajzásdinamikája trágyázási tartamkísérletekben. Növényvédelem. 45: 6.
- Bengough, A. G.–McKenzie, B. M.–Hallet, P. D.–Valentine, T. A.: 2011. Root elongation, water stress, and mechanical impedance: a review of limiting stresses and beneficial root tip traits. Journal of Experimental Botany. 62. 1: 59–68.
- Benor, M.–Levy, G. J.–Mishael, Y.–Nadler, A.: 2013. Salinity effects on the fieldscout TDR 300 soil moisture meter readings. Soil Science Society of America Journal. 77. 2: 412–416.
- Branson, T. F.–Ortman, E. E.: 1970. The host range of larvae of the western corn rootworm: further studies. Journal of Economic Entomology. 63: 800–803.

- Davis, P. M.*: 1994. Comparison of economic injury levels for western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) infesting silage and grain corn. *Journal of Economic Entomology*. 87: 1086–1090.
- Eppo, B.*: 1999. Efficacy evaluation of insecticides – *Diabrotica virgifera*. 29. 3: 319–323.
- Gale, M. R.–Grigal, D. E.*: 1987. Vertical root distribution of northern tree species in relation to successional status. *Canadian Journal of Forest Research*. 17: 829–834.
- Gassmann, A. J.*: 2016. Resistance to Bt maize by western corn rootworm: insights from the laboratory and the field. *Current Opinion in Insect Science*. 15: 111–115.
- Gray, M. E.–Sappington, T. W.–Miller, N. J.–Mooser, J.–Bohn, M. O.*: 2009. Adaptation and Invasiveness of Western Corn Rootworm: Intensifying Research on a Worsening Pest. *Annual Review of Entomology*. 54. 1: 303–321.
- Hanway, J. J.*: 1966. „How a corn plant develops”. Special Report. 38: 13.
- Hochholdinger, F.–Woll, K.–Sauer, M.–Dembinsky, D.*: 2004. Genetic dissection of root formation in maize (*Zea mays*) reveals root-type specific developmental programmes. *Annals of Botany*. 93: 359–368.
- Illés, Á.–Nasir Mousavi, S. M.–Bojtor, Cs.–Nagy, J.*: 2020. The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods *Cereal Res. Commun.* 48. 4: 565–573.
- Kahler, A. L.–Olness, A. E.–Sutter, G. R.–Dybing, C. D.–Devine, O. J.*: 1985. Root damage by western com rootworm and nutrient content in maize. *Agronomy Journal*. 77: 769–774.
- Krysan, J. L.*: 1978. Diapause, quiescence, and moisture in the egg of the western corn rootworm, *Diabrotica virgifera*. *Journal of Insect Physiology*. 24: 535–540.
- Kuchenbuch, R. O.–Ingram, K. T.–Buczko, U.*: 2006. Effects of decreasing soil water content on seminal and lateral roots of young maize plants. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 169: 814–848.
- Levine, E.–Oloumi-Sadeghi, H.*: 1991. Management of Diabroticite rootworms in corn. *Annual Review of Entomology*. 36: 229–255.
- Levine, E.–Spencer, J. L.–Isard, S. A.–Onstad, D. W.–Gray, M. E.*: 2002. Adaptation of the western corn rootworm to crop rotation: evolution of a new strain in response to a management practice. *American Entomologist*. 48: 94–107.
- Liu, S.–Song, F.–Zhu, X.–Xu, H.*: 2012. Dynamics of Root Growth and Distribution in Maize from the Black Soil Region of NE China. *Journal of Agricultural Science*. 4. 2: 21–30.
- MacDonald, P. J.–Ellis, C. R.*: 1990. Survival time of unfed, firstinstar western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) and the effects of soil type, moisture, and compaction on their mobility in soil. *Environmental Entomology*. 19: 666–671.

- Marion, L. Cs.–Szóke, Cs.–Pintér, J.:* 2008. Studies of the tolerance of maize hybrids to corn rootworm in Hungary. Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs. 77–80.
- Meinke, L. J.–Sappington, T. W.–Onstad, D. W.–Guillemaud, T.–Miller, N. J.:* 2009. Western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) population dynamics. *Agricultural and Forest Entomology*. 11: 29–46.
- Meinke, L. J.–Stegfried, B. D.–Wright, R. J.–Chandler, L. D.:* 1998. Adult susceptibility of Nebraska western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae) populations to selective insecticides. *Journal of Economic Entomology*. 91: 594–600.
- Metcalf, R. L.:* 1986. Foreword. [In: Krysan and Miller (eds.) *Methods for the study of pest Diabrotica*.] Springer. New York. 7–15.
- Nagy J.:* 2006. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 393.
- Nagy J.:* 2010. A kukoricatermesztés jelene és jövője. *Növénytermelés*. 59. 3: 85–111.
- Nagy J.:* 2021. Kukorica. A nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- Nagy V.:* 2004. Termőhely-specifikus növénytermesztés hidrológiai alapjai, különös tekintettel Csallóközre és Szigetközre. Doktori PhD értekezés.
- Net1:* 2021. <https://www.perkinelmer.com/product/inframatic-9500-nir-grain-analyzer-perimg9500>
- Owens, J. C.–Peters, D. C.–Hallauer, A. R.:* 1974. Corn rootworm tolerance in maize. *Environmental Entomology*. 3: 767–772.
- Pikul, J. L.–Hammack, L.–Riedell, W.:* 2005. Corn Yield, Nitrogen Use, and Corn Rootworm Infestation of Rotations in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*. 97. 3: 854.
- Pruess, S. P.–Weekman, G. T.–Sommerhalder, B. R.:* 1968. Western com rootworm egg distribution and adult emergence under two com tillage systems. *Journal of Economic Entomology*. 61: 1424–1427.
- Riedell, W. E.–Kim, A. Y.:* 1990. Anatomical characterization of western corn rootworm damage in adventitious roots of maize. *Journal of the Iowa Academy of Science: JIAS*. 97: 15–17.
- Ripka G.:* 2007. A kukoricabogár magyarországi elterjedése és kártétele. [In: Marion L. Cs. (szerk.) *A kukoricabogár terjedése és a védekezés módszerei*.] Martonvásár. 2007. szept. 25. 3–5.
- Smith, S.–De Smet, I.:* 2012. Root system architecture: insights from *Arabidopsis* and cereal crops. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*. 367: 1441–1452.
- Spike, B. P.–Tollefson, J. J.:* 1989. Relationship of root ratings, root size, and root regrowth to yield of corn injured by western corn rootworm (Coleoptera: Chrysomelidae). *Journal of Economic Entomology*. 82: 1760–1763.

- Széles, A.-Ragán, P.-Nagy, J.*: 2015. The role of irrigation in the soil-crop system. Geophysical Research Abstracts - In EGU General Assembly Conference Abstracts. 17: 5226.
- Széll E.*: 2007. Az agrotechnikai műveletek szerepe az amerikai kukoricabogár elleni védekezésben. [In: Marton L. Cs. (szerk.) A kukoricabogár terjedése és a védekezés módszerei.] Martonvásár. 2007. szept. 25. 8-11.
- Team, R.*: 2016a. R: a language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Team, R.*: 2016b. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston, MA, USA. <http://www.rstudio.com>
- USDA*: 2020. World Agricultural Production. Circular Series WAP. 11-20.
- Ványiné Széles, A.-Nagy, J.*: 2012. Effect of nutrition and water supply on the yield and grain protein content of maize hybrids. Australian Journal of Crop Science. 6. 3: 381-290.
- Whitmore, A. P.-Whalley, W. R.-Bird, N. R.-Watts, C. W.-Gregory, A. S.*: 2011. Estimating soil strength in the rooting zone of wheat. Plant and Soil. 339. 1: 363-375.
- Wright, R. J.-Scharf, M. E.-Meinke, L. J.-Zhou, X.-Stegfried, B. D.-Chandler, L. D.*: 2000. Larval susceptibility of an insecticide-resistant western corn rootworm (Coleopteran: Chrysomelidae) population to soil insecticides: Laboratory Bioassays, assays of detoxification enzymes, and field performance. Journal of Economic Entomology. 93: 7-13.
- Zhang, A. L.-Miao, G. Y.-Wang, J. P.*: 1997. Relationships between crop roots and water. Crop Research. 2: 4-6.
- Zhang, X. P.-Liang, A. Z.-Shen, Y.-Li, W. F.-Zhang, X. L.-Wang, Y. X.-Xie, Y. J.-Liu, F. F.-Yang, X. M.*: 2006. Erosion Characteristics of Black Soils in Northeast China. Scientia Geographica Sinica. 26: 687-692.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

\*Szabó Atala - Illés Árpád - Bojtor Csaba - Dr. Széles Adrienn - Zelenák Annabella -

Dr. Nagy János

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet

Debrecen

Böszörményi út 138.

H-4032

\* szabo.atala@agr.unideb.hu

## SZEMLE

### Review

#### A növénytermesztési kísérletek értékelése ANOVA típusú kevert (mixed) modellel

BERZSENYI ZOLTÁN

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kaposvári Campus,  
Növénytermesztési-tudományok Intézet, Kaposvár

#### Összefoglalás

A varianciaanalízis (ANOVA), melyet R. A. Fisher 100 évvel ezelőtt fejlesztett ki, új korszakot nyitott a szántóföldi kísérletezésben. Az ANOVA forradalmasította a szántóföldi kísérletezést a modern mezőgazdaságban, kijelölve utakat a torzítások elkerülésére vagy minimalizálására, javítva pontosságot és biztosítva az érvényes következtetéseket. Miközben ezek a hagyományos eljárások széleskörűen használatban maradnak, az új statisztikai módszerek hasznosítják az előnyét az egyre nagyobb komputerkapacitásnak, melynek fokozódik a szerepe a mezőgazdasági kutatásban. Napjainkban a kevert (mixed) modellek kifejlesztésének és alkalmazásának jelentős hatása van a mezőgazdasági kutatásra.

A növénykutatók által megtervezett kísérletek gyakran a variáció számos formáját idézik elő. Ilyenek például a split-plot (osztott parcellás) kísérletek, a kísérlet-sorozatok és az ismételt mérések ugyanazon a parcellán. Az ilyen kísérletekből származó adatok megfelelően értékelhetők a kevert modellel. A legtöbb növénytermesztési kísérletben jelen levő fix és random hatások ellenére sok kutató a hagyományos varianciaanalízist használja, amely csak akkor ad korrekt eredményt, ha minden hatás fix.

A dolgozat rámutat a kevert modellel történő analízis szükségességére, bemutatja a kevert modell néhány sajátosságát, hangsúlyozva nagyobb rugalmasságát és



statisztikai erejét, összehasonlítva a hagyományos módszerekkel. A második részben részletes kevert modell analízist mutatunk be két specifikus példával (split-plot kísérlet és kiegyensúlyozatlan kísérlet) a fentiek hangsúlyozására. Meg vagyunk győződve arról, hogy a növénytermesztési kutatók használni fogják a kevert modelleket, amennyiben rendelkeznek a megfelelő szoftverrel és a specifikus alapismeretekkel.

**Kulcsszavak:** varianciaanalízis, fix vs. random hatások, kevert modellek, ismételt mérések, split-plot elrendezés

### **Analysis of crop production experiments using ANOVA-type mixed models**

Z. BERZSENYI

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences Kaposvár Campus  
Institute of Agronomy, Kaposvár

#### **Summary**

Analysis of variance (ANOVA) developed by R. A. Fisher 100 years ago, brought a new age of field experimentation. ANOVA revolutionized field experimentation in modern agriculture, providing ways to minimize or avoid bias, improve precision and secure valid conclusions. While these conventional techniques remain widely used, new statistical methods, that take advantages of the increased computing power, have an increasing role in agricultural research. Nowadays the development and implementation of mixed models has had a great impact on agricultural research.

Designed experiments conducted by crop scientists often give rise to several random sources of variation. Examples are split-plot designs, series of experiments and repeated measurements taken on the same field plots. Data arising from such experiments may be conveniently analysed by mixed models. Despite the presence of both fixed and random effects in most crop production experiments, many crop researchers use of the conventional analysis of variance model, that provides correct analysis only if all the effects are fixed.

This paper points out the need for mixed model analysis, describes some features and properties of mixed model analysis to emphasize why it is more flexible and

powerful than the conventional methods. The second part is to carry out detailed mixed model analysis for two specific examples (split-plot design and unbalanced data) to demonstrate such flexibility and power. We are convinced that crop scientists can produce valid and useful mixed model analysis if equipped with the appropriate software and an understanding of some basic principles.

**Key words:** analysis of variance, fixed vs. random effects, mixed models, repeated measurements, split-plot design

### Оценка опытов растениеводства смешанной моделью типа ANOVA

З. БЕРЖЕНЬИ

Венгерский Аграрный и Биологический Университет, Кампус Капошвара,  
Институт Растениеводческих Наук, г. Капошвар

#### Резюме

Вариантный (дисперсионный) анализ (ANOVA), который выработал R. A. Fisher 100 лет назад, открыл новый период в пахотных опытах. ANOVA произвела революцию в пахотных опытах в современном сельском хозяйстве, обозначив пути избежания или минимализации искажений, улучшая точность и обеспечивая действующие выводы. Когда традиционные методы широко остаются в использовании, новые статистические методы используют преимущества и все большую мощность компьютеров, роль которых увеличивается в сельскохозяйственных исследованиях. В наши дни развитие и применение смешанных (mixed) моделей имеет значительное влияние на исследования в сельском хозяйстве.

Спланированные исследователями растений опыты часто вызывают многочисленные формы вариаций. Такие например, опыты split-plot, серии опыта и повторные измерения на той же парцелле. Происходящие из таких опытов данные можно соответственно оценивать смешанными моделями. Несмотря на присутствующие в большинстве растениеводческих опытах фиксированных и случайных (fix, random) влияний, многие исследователи используют традиционный дисперсионный анализ, который только тогда даёт корректный результат, если каждое влияние фиксированное.

Работа указывает на необходимость анализа со смешенной моделью, показывает некоторые свойства смешенной модели, подчёркивая её большую гибкость и статистическую силу, сравнивая с традиционными методами. Во второй части подробно показываем анализ смешанной модели с двумя специфическими примерами (опыт split-plot и неуравновешенный опыт) для подчёркивания вышеуказанного. Мы уверены в том, что исследователи в растениеводстве будут использовать смешанные модели, если располагают соответствующим софтвером и специальными знаниями.

**Ключевые слова:** вариантный (дисперсионный) анализ, «fix и random» влияния, смешанные модели, повторные измерения, расположение split-plot

### Bevezetés

A kutatás a mezőgazdasági, biológiai és környezeti tudományos diszciplínákban a fő hozzájárulás az alapvető tudományos megértésekhez, amely elvezethet új és javított technológiákhoz, biztonságosabb és egészségesebb élelmiszerellátáshoz, és a legjobb gyakorlathoz, hogy megőrizzük az ökoszisztémánkat. Bizonyíthatóan a kutatás általános sikerét ezekben a diszciplínákban nagyrészt a varianciaanalízis (ANOVA) széleskörű használatának köszönhetjük, amely kezdetét jelenti az alkalmazott statisztika modern korszakának (McIntosh 2016).

A hazai kutatásban a növénytermesztők több évtizede Sváb J. (1981): „*Biometriai módszerek a kutatásban*” c. könyve alapján tervezik meg kísérleteiket és értékelik a kísérleti adatokat (pl. Árendás et al. 2004, Berzsenyi 1993, Sárvári és Futó 2001, Izsáki 2009, Nagy 2017, Kismányoky 2018, Pepó 2020). A könyv kiváló tárháza a kísérletezés alapelveinek és klasszikus módszereinek, melyek napjainkban is változatlanul érvényesek. A számítógépek elterjedésével azonban a hagyományos, kézi számoláson alapuló kísérlet-értékelést mindenütt a világon felváltotta a statisztikai szoftvereken alapuló analízis (pl. Mead et al. 2003, Ireland 2010, Berzsenyi 2015). A számítógépek egyúttal lehetővé teszik a kísérletek részletesebb, sokoldalúbb értékelését és olyan statisztikai módszerek alkalmazását, melyek számítógéphez kötöttek.

A növénytermesztési kutatásban a tervezett kísérleteket rendszerint egy lineáris modell alapján analizáljuk. Gyakran a modell kevert (mixed) típusú, mivel magában foglal számos olyan hatást, amelyek a variáció különböző fix és random forrásait képviselik. Néhány példa: (1) split-plot kísérlet két hiba tényezőt tartalmaz, egyet a főparcellára és egyet az alparcellára; (2) ismételt mérések, amelyeket különböző időben, illetve térben végzünk, korrelálnak, amely számba vehető a megfelelő variancia-kovariancia struktúrával rendelkező kevert modellel; (3) a geostatistikai adatok térbeni analízise könnyen beágyazható a kevert modell keretbe; (4) több helyen, illetve több évben ismételt kísérletek lineáris modellt igényelnek random környezeti hatásokkal; (5) az inkomplett blokk elrendezésű kísérletek képezik a kevert modellek egyik fő felhasználási területét (Piepho 2003).

Az ilyen kísérletekből származó adatok megfelelően analizálhatók ANOVA típusú kevert (mixed) modellel. Míg a kevert modellt jól kifejlesztették elméleti oldalról és az analízis most könnyen elvégezhető modern statisztikai szoftverrel, a kevert modell használata az agronómiai és növénytermesztési kutatásban nem érte el a kívánt szintet. Ez az ellentmondás részben annak tulajdonítható, hogy hiányzik a kevert modell és a klasszikus ANOVA közötti különbség dokumentálása, továbbá a kevert modell csomagok outputjai nem ismerősek azoknak, akik az ANOVA táblázatokhoz és a legkisebb szignifikáns differenciákhoz hozzászórtak, jóllehet több a hasonlóság, mint az eltérés (Yang 2010). Meg vagyunk győződve arról, hogy a növénytermesztő kutatók és oktatók el tudnak végezni érvényes és hasznos kevert modell analízist, ha rendelkeznek a megfelelő szoftverrel és ismerik az alapelveket. A dolgozat célja, hogy (i) bemutassuk a kevert modellek néhány sajátosságát és (ii) példákkal illusztráljuk a főbb alkalmazási területeket a növénytermesztésben.

### **A varianciaanalízis rövid története**

A varianciaanalízist kezdetben a mezőgazdasági kutatóknak dolgozták ki, akik szántóföldi kísérleteket állítottak be annak meghatározására, hogy a kezelések közötti különbségek szignifikánsak-e (azaz megbízhatók és megismételhetők). R. A. Fishert a Rothamsted Kutatóintézet (Harpenden, UK) hívta meg, hogy statisztikailag analizálja az adatokat és megfigyeléseket, melyeket búzában végzett folyamatos kutatásból gyűjtöttek több mint 70 év

alatt a termésvariáció okainak feltárása céljából. Felhasználva a széleskörű tartamkísérleti és időjárási adatokat és feljegyzéseket, Fisher éppen 100 évvel ezelőtt kifejlesztette a varianciaanalízist, hogy becsülje és összehasonlítsa a külső faktorok (pl. időjárás, talajtermékenység, gyomborítás és trágyázási kezelések) relatív hozzájárulását a megfigyelt termésvariációhoz (Fisher 1921). Az ANOVA irányelveit és gyakorlatát a „*Statistical Methods for Research Workers*” c. úttörő statisztikai értekezésében foglalta össze (Fisher 1925) agronómiai kutatóknak, oktatóknak és hallgatóknak és statisztikai standardokat határozott meg a szántóföldi kísérletek tervezéséhez és analíziséhez.

Ezt követően, az ANOVA-t adaptálták a kísérleti adatok statisztikai analízisére a legtöbb tudományos diszciplínában. Fisher a valószínűségi eloszlást használta annak meghatározására, hogy a kezeléscsoportok szignifikánsan különböznek-e vagy a véletlennek tulajdoníthatóak. Az ANOVA módszer becsülte annak valószínűségét, hogy az átlagok nem különböznek, feltételezve az átlagok populációinak normális és független eloszlását, egyenlő hibavariációval. Még a mai napig is vitatott a nullhipotézis kiváltságos helyzete, miért élvez előnyt a végtelen számú alternatív hipotézissel szemben? Ráadásul ez az elmélet egy feltételes valószínűségeen alapul, amely a nullhipotézis igaz voltát feltételezi. Ez sokszor feledésbe merül és a kapott eredmények nem megfelelő értelmezését okozza. Elméletének használatához, illetve erősítéséhez sokat segített Jerzy Neyman és Karl Pearson munkássága (konfidencia-intervallum, másodfajú hiba, statisztikai próba ereje, stb.) (Neyman és Pearson 1928ab). Az ANOVA kidolgozásának korai szakaszában, Fisher javasolta használni a  $P \leq 0,05$ -t, mint egy megfelelő p-értéket a statisztikai szignifikancia meghatározásához, amely azóta gyakorlattá vált.

Neyman nevéhez fűződik egy alternatív megközelítés a szignifikancia vizsgálatra, amely a statisztikai hiba két típusát veszi figyelembe (Neyman és Tokarska 1936). Fontos, hogy a kutatók úgy válasszák meg az elsőfajú hiba mértékét (vagyis a szignifikancia szintet), hogy egyensúlyban legyen a másodfajú hiba relatív kockázatával. Fisher p-értékei és Neyman  $\alpha$  értékei rivális statisztikai filozófiát képviselnek a szignifikancia-vizsgálat tekintetében. Fisher a tudományos érdeklődésre fókuszált és a szignifikancia szinteket használta, hogy segítsen a kutatóknak a következtetések levonásában, hogy megértsék és tanuljanak a kísérleti adatokból. Ezzel

szemben, Neyman a korrekt döntéshozatalra fókuszált a nullhipotézis visszautasításakor vagy elfogadásakor az elsőfajú és a másodfajú hibák relatív súlyosságára vonatkozóan.

Az agronómiai és környezeti kutatásban (és a legtöbb más kutatásban) általános gyakorlattá vált az  $\alpha$  hiba szabályozása. A másodfajú hiba valószínűségét ritkán közlik a mezőgazdasági kutatásban. Helyette sok kísérletben használják az  $\alpha=0,05$  statisztikai döntési küszöbértéket, tekintet nélkül a hipotézisre és a kutatás elsődleges okára. Mai napig vitatott az elsőfajú hiba elkövetésének 5%-os maximális valószínűsége. Ezt a gyakorlatot nem javasolta sem *Fisher* (1925), sem pedig *Neyman* és *Pearson* (1928ab).

Fisher bizonyította, hogy az ANOVA szükségessé teszi, hogy a kezelések és a kontroll parcellák egyaránt legyenek megismételve és randomizálva. A randomizáció és az ismétlés fontosságának a felismerése a hibavariancia becslésére vitathatatlanul az ANOVA legforradalmibb aspektusa. A varianciaanalízis egy új korszakot nyitott a szántóföldi kísérletezésben, amely előmozdítja a kísérleti tervek készítését, hogy csökkentjük a random hibát és növeljük az analízis statisztikai erejét az ismétlések és/vagy a minták számának növelésével (*McIntosh* 2016).

Az ANOVA eljárásban a variáció forrásai azonosítva, becsülve és összehasonlítva vannak, hogy teszteljük a nullhipotézist a statisztikai valószínűség alapján. Az ANOVA egy tudományosan megalapozott és szisztematikus eljárást nyújt, amely lehetővé teszi a kutatóknak, hogy képesek legyenek: i) megtervezni kísérleteket, beépítve az ANOVA alapelveket a kezelések ismétléséről és randomizálásáról, ii) azonosítani a forrásokat (faktorokat), melyek hozzájárulnak az adatok összes varianciájához, iii) analizálni az adatokat, felhasználva egyszerű lépésenkénti eljárást, hogy kiszámítsuk a különböző források hozzájárulását a varianciához és iv) felhasználni a kezelések közötti variáció arányát a kezeléseken belüli variációhoz viszonyítva, hogy teszteljük a kezeléshatás szignifikanciáját.

Sajnos, a matematikai egyszerűség, amely a klasszikus ANOVA-t gyakorlatiassá és vonzóvá teszi a kutatóknak, korlátokat is tartalmaz. Az elméleti valószínűség, melyet arra használunk, hogy teszteljük a kezelések közötti különbségek szignifikanciáját, azon a feltételezésen alapul, hogy az összehasonlítandó kezelések normális eloszlású populációkból származnak, és a hibavarianciájuk független és egyenlő. A későbbiekben rámutattak arra

(pl. Box 1976), hogy a gyakorlatban a normális eloszlás és a variancia homogenitásának feltételeit megközelítőnek tekinthetjük. Ugyanakkor bizonyíték van arra, hogy kismértékű eltéréseknek az alapfeltételektől csekély hatása van az ANOVA eredményekre. Az eltérések azonban ezektől a feltételektől, amelyek nem jelentéktelenek, nem érvényes valószínűségekhez vezethetnek a szignifikancia-vizsgálatkor és nem megfelelő következtetéseket vonhatunk le.

#### *ANOVA komponensek*

Annak ellenére, hogy új módszerekkel egészítették ki az ANOVA-t, az eredeti ANOVA komponensek változatlanul hasznosak az ANOVA gyakorlat és eljárások megértéséhez, modern környezetben. Ezek a komponensek: a variáció forrásai, szabadságfokok (df), eltérésnégyzet összeg (SS), közepes négyzetes eltérés (MS), F-arány és a nagyobb F-érték  $P(>F)$  valószínűsége. Mindegyik komponens összefügg egy lépéssel a legkisebb négyzetösszeg kiszámításában, melyet a varianciák és a hatások szignifikancia-vizsgálatára használjuk. Azon kívül, hogy az ANOVA-t használjuk a hatások szignifikancia-vizsgálatára a lineáris modellben, az ANOVA vizsgálhat mélyebben, jobban fókuszálva a hipotézisre. A kontrasztok (ellentétek) és többszörös összehasonlítási eljárások a szignifikancia további vizsgálatára irányulnak.

#### *Lineáris modell*

Az analízis egy statisztikai modellel kezdődik, a kísérleti faktorok és a random variáció hatásának leírásával a reakció változóra. A kísérleteknél a statisztikai modell és az ANOVA táblázat szoros kapcsolatban van. A lineáris modell egy keretet nyújt az ANOVA-nak és a hatások (ismert és feltételezett) leírását adja, melyek hozzájárulnak a megfigyelések összes variációjához. A különböző kísérleti elrendezésekre (pl. egytényezős, faktoriális) a lineáris additív modellben specifikáljuk a variáció forrásait (Mead *et al.* 2003, Ireland 2010, Berzsenyi 2015).

A lineáris modelleket osztályozhatjuk úgy, mint fix, random vagy kevert modell, a hatások (a reziduális hibán kívül) típusa alapján, amelyeket tartalmaz a modell. A fix és random modellek tartalmaznak minden fix, illetve random hatást. A kevert (mixed) modell tartalmaz fix és random hatásokat egyaránt (Galwey 2006).

## Újabb ANOVA módszerek

A klasszikus ANOVA hiányaira válaszolva, új megközelítéseket fejlesztettek ki az ANOVA-ra, a modellillesztésben, a variancia és/vagy kovariancia paraméterek becslésében és a hatások szignifikanciájának vizsgálatában, amelyek nem függenek a klasszikus ANOVA feltételektől. Az újabb statisztikai módszerek lehetővé teszik az ANOVA-nak, hogy megcélozza a modern kihívásokat, amelyeket a 'big data' és a komplex rendszerek megértése jelent. Az újabb ANOVA módszereket, amelyek maximális 'likelihood' (valószínűség) becslést használnak, sokkal inkább, mint a momentumok klasszikus módszerét, a kevert (mixed) modellek analízisére tervezték, melyek fix és random hatásokat egyaránt tartalmaznak. Az általánosított lineáris kevert modellt (generalized linear mixed model) fejlesztették ki a reakcióváltozók kevert modell analízisére, melyek nem szükségszerűen normális eloszlásúak. Statisztikai szoftver széleskörűen rendelkezésre áll a kutatóknak és oktatóknak, hogy használják az általánosított lineáris modell analízist az ANOVA-ra, különböző eloszlású (pl. normális, binomiális, Poisson, log-normál) hatásokra, melyek folytonosak vagy kategorikusak, és a modellekre, melyek fixek, randomok vagy keverték (*Stroup* 2016). Az általánosított modell illesztése, flexibilitása és ereje azonban szükségessé tesz bizonyos statisztikai jártasságot és tapasztalatot a klasszikus módszereken túl, hogy hatékonyan teljesítsen és korrekten interpretáljuk az ANOVA eredményét.

### Lineáris kevert (mixed) modell néhány sajátossága

Az REML (residual vagy restricted maximum likelihood) algoritmust fejlesztették ki a lineáris kevert modellek analízisére. Az REML egyik fő jellemzője, hogy analizálni tud olyan adatokat, melyek egynél több hibaforrást tartalmaznak. Ilyen vonatkozásban hasonló az ANOVA-hoz. Az REML fontos előnye az ANOVA-val szemben, hogy analizálni tudja a nem kiegyensúlyozott (unbalanced) kísérleti elrendezéseket is. Erős predikcióval rendelkezik azáltal, hogy felöleli a random és fix hatásokat egyaránt. Az REML használata a meta-analízisben megmutatja, hogyan lehet számos eltérő adatsorozatot egyidejűleg analizálni, hogy megkapjuk a kezelések kombinált



becslését. Az REML modellezni képes a térbeli korrelációkat a megfigyelések között két dimenzióban (térben és időben). A korreláció modellezését használjuk az ismételt mérések analízisében. Az REML a konvencionális módszerek erős alternatíváját kínálja, mint az ismételt mérések analízise ANOVA-val vagy a kontrasztok időbeni analízise (Payne et al. 2017).

A kevert modell analízis alapvetően két lépésből áll: (1) a modell felállítása, (2) statisztikai következtetések levonása (paraméterbecslés, tesztek és konfidencia intervallumok). A megfelelő modell jelöléseket, a kevert modell felállításának szabályait és lépéseit, különböző faktoriális kísérleti példákkal részletesen ismerteti Piepho et al. (2003, 2004). Az alábbiakban Piepho et al. (2003) alapján röviden rámutatunk néhány sajátosságra, melyek fontosak a kevert modellek használatakor, összehasonlítva a klasszikus ANOVA eljárást az REML alapú kevert modell analízissel.

- (1) *Fix és random hatások*. Minden hatás a lineáris modellben fixnek vagy randomnak tekinthető. Kritikus annak meghatározása, hogy egy hatás fix vagy random, mivel a fix és random hatások különböző kísérleti céloknak felelnek meg, különböző a következtetés hatásköre és különböző statisztikai becslésekhez és statisztikai vizsgálatokhoz vezetnek. Fix hatások a kezelésfaktorok, melyek magukba foglalják a hatások minden szintjét vagy típusát és felhasználjuk szűk következtetések levonására, amelyek korlátozódnak a kezelésekre a kísérletben és azok szignifikancia-vizsgálatára. Fix hatások rendszerint a kezeléshatások, melyeket vizsgálunk, mint a műtrágyakezelések, tápanyagdózisok, fajták és hőmérsékletszintek. Fix hatásoknál, a kezelésátlagok becslése, a hatások szignifikancia szintje és az átlagok közötti különbségek érdekelnek bennünket elsődlegesen. Ezzel szemben, a random hatás szintjei vagy típusai reprezentálják a hatás minden lehetséges szintjének és típusának random mintáit. A random hatásokat vizsgáljuk, hogy széleskörű következtetést vonjunk le az általános varianciáról, melyet random hatás okozott, amely nem korlátozódik a kísérletben levő hatás szintjeire. A hatásokat, melyek kapcsolatban vannak az évekkel, helyekkel vagy genotípusokkal, gyakran tekintjük randomnak, ha a meghatározott populáció elég nagy random mintáját képviselik.

Random hatásoknál, következtetések a varianciájukról képezik az elsődleges célt, sokkal inkább mint a kezelésekközötti különbségek.

Hatások, összefüggésben a tervezési faktorokkal és a hibavariációval, mint a blokkok, a kísérleti és mintavételi variáció, mindig randomok. Ha egy faktor random, akkor minden hatás, amely tartalmazza ezt a faktort, ugyancsak random.

A fix vs. random hatások explicit specifikálása a kevert modellben előfeltétele a megfelelő és korrekt modell analízisnek. A hagyományos ANOVA modell minden hatást fixnek kezel, használata gyakran nem korrekt F-tesztekhez és/vagy hibás SE értékekhez vezethet, ha egy vagy több faktor valóban random. A fix vs. random hatások egyértelmű megkülönböztetésének hiánya nagymértékű keveredést és bizonytalanságot generál a kevert modell analízisben (Yang 2010).

- (2) *A faktorok két típusa.* Megkülönböztetünk kezelés és blokk faktorokat. A *blokk faktorok* magukba foglalják a random kiválasztott mintavételi egységeket (növények, talajminták stb.), randomizációs egységeket (sorok, oszlopok, inkomplett blokkok, főparcellák, alparcellák stb.) és blokk-képző egységeket, melyek nem voltak bevonva a randomizációba (komplett blokkok, környezetek, stb.). A blokk faktoroknak egyedülállóan azonosítani kell minden megfigyelési egységet (parcella, növény stb.), azaz a blokk faktorok elválaszthatatlanok a megfigyelési egységektől. A *kezelésfaktort* és szintjeit a kísérletező választja ki, hogy választ kapjon a kutatási kérdésre. A randomizált kezelésfaktor szintjei el vannak osztva a megfigyelési egységekre a randomizálási folyamattal, azaz a kezelések nem elválaszthatatlanok a megfigyelési egységtől. Az ANOVA modellben használt kezelés-struktúra és blokk-struktúra kevert modellben a fix modellnek és random modellnek felel meg.
- (3) *Legkisebb négyzetek módszere vs. általánosított legkisebb négyzetek módszere.* Egy lineáris modell fix hatású paraméterei becsülhetők az általános legkisebb négyzetek módszerével (ordinary least squares, OLSE). Ez a módszer optimális az egyetlen hiba taggal és homogén varianciával rendelkező lineáris modellekre. A mixed (kevert) lineáris modellekben azonban az OLSE rendszerint nem optimális. Jobb módszer az általánosított legkisebb négyzetek módszere (generalized least squares (GLSE)).

- (4) *A varianciakomponensek becslése.* Számos módszer van a varianciakomponensek becslésére. Az REML a választható módszer és standard a legtöbb mixed modell csomagban. Az REML alapú mixed modell eljárások rendszerint nagyszámú leíró statisztikai mutatót tartalmaznak az REML-hez kapcsolódóan, amely szokatlan azoknak, akik főként a klasszikus ANOVA eljárást alkalmazták. Ezek a mutatók felhasználhatók a modellillesztés becslésére és számos modell jelölt közötti választásra és fontosak főként, amikor mixed modelleket használunk, amelyek nem egyszerűen ANOVA típusúak.
- (5) *A korrelációs struktúra specifikálása.* Az ismételt mérések analizésénél figyelembe kell venni a korrelációt a mérések között ugyanazon a kísérleti parcellán. Több különböző típusú modell van, amelyek a korrelációs struktúrát leírják: pl. az autoregresszív [AR (I)], compound symmetry, hatvány, antedependence. A mixed modell keretben a különböző modellek összehasonlíthatók az Akaike információs kritériummal (AIC) vagy a Schwarz Bayesian információs kritériummal (BIC) (Piepho et al. 2004, Yang 2010). Guerin és Stroup (2000) javasolta egy korrelációs struktúrának a kiválasztását oly módon, hogy nagyszámú ilyen struktúrát illesztünk az adatokhoz és kiválasztjuk azt, amelyiknek legkisebb az Akaike információs kritérium (AIC) értéke. Arra is rámutattak, hogy tartamkísérletekben az AIC használata szelekciós kritériumként általában megfelelő. Ezek a korrelációs struktúrák specifikálhatók a *mixed modellben*, amely a fix hatásokat és a random hatásokat egyaránt modellezi (Payne et al. 2017).
- (6) *ANOVA vs. REML-alapú Wald teszt.* A fix hatások tesztelése egy mixed modellben két különböző stratégiával végezhető, melyek nem szükségszerűen adnak azonos eredményt. Az első módszer az összes SS klasszikus felbontásán alapul olyan komponensekre, amelyek különböző modellhatásoknak tulajdoníthatók. F-teszteket képezünk az ANOVA MS várható értékei alapján, amelyek kiszámíthatók az általános algoritmus felhasználásával.

A második módszer kiszámítja a Wald-típusú F-mutatót, felhasználva a fix hatások GLSE módszerét, amely a variancia komponensek REML becslésén alapul. Ez a módszer, amelyet a SAS rendszer MIXED eljárása alkalmaz. A MIXED modell kinyomtatott outputja ismerős azoknak, akik a

klasszikus ANOVA-hoz szoktak, amennyiben egy F-tesztet képezünk minden fix hatásra a modellben. Ami nem ismerős, az SS és MS értékek hiánya. A kiegyensúlyozott adatokra, az ANOVA teszt és Wald teszt eljárások azonos eredményt adnak, az eredmények azonban eltérnek a nem kiegyensúlyozott adatokra.

Meg kell jegyezni, hogy a klasszikus ANOVA eljárásokkal is lehet értékelni inkomplett, hierarchikus, ismételt stb. elrendezéseket, csak a megfelelő SS számítási algoritmust kell kiválasztani. Napjainkban négyféle SS meghatározási módszer ismert. Ilyen esetekben azonban tudni kell a határfeltételeket, hogy milyen elképzelések esetén érvényes az adott mutató.

A következőkben először összehasonlítjuk az ANOVA és az REML analízist egy split-plot kísérlet adatainak elemzésével. Ezután az REML alkalmazási lehetőségeit vázoljuk fel a meta-analízisben, a nem-kiegyensúlyozott kísérleteknél és a tartamkísérletekben.

### ANOVA és REML összehasonlítása – példa

Az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetében, Martonvásáron, split-plot elrendezésű kísérletben négy kukorica hibrid és négy nitrogénszint hatását vizsgáltuk a kukorica termésére. A főparcellába helyeztük el az N-műtrágya szinteket (0, 80, 160 és 240 kg/ha) és az alparcellába a kukorica hibrideket. A kísérletet négy blokkban (ismétlésben) állítottuk be.

#### *A split-plot kísérlet analízise ANOVA-val*

Reakció (Y-) változó: termés. Kezelés struktúra faktoriális, nitrogén és hibrid faktorokkal: nitrogén×hibrid. A blokk-struktúrát automatikusan képezi a program azokból a faktorokból, melyeket specifikáltunk a Blocks (blokk), Whole Plots (főparcella) és Sub-Plots (alparcella) mezőkben. Az ANOVA táblázat mutatja a három random tényezőt: blokk, főparcella blokkon belül és alparcella a főparcellán belül (blokkon belül). Az analízis automatikusan történik, ahol minden fix (kezelés) tagot becsül a program és összehasonlítja a megfelelő reziduális (maradék) taggal (1. táblázat).

1. táblázat. A split-plot kísérlet varianciaanalízisének (ANOVA) eredménytáblázata

Variancia forrása (1)	d. f.	SS	MS	F-érték (2)	P-érték (3)
Blokk (Ismétlés) (4)	3	51,38	17,13	21,38	
Nitrogén (5)	3	355,53	118,51	147,94	<0,001
Maradék (főparcella hiba) (6)	9	7,21	0,80	1,48	
Hibrid (7)	3	62,52	20,84	38,43	<0,001
Nitrogén×Hibrid (8)	9	10,12	1,12	2,07	0,059
Maradék (alparcella hiba) (9)	36	19,52	0,54		
Összes (10)	63	506,29			

Table 1. Results of the analysis of variance (ANOVA) of the split plot experiment. (1) Source of variation, (2) F-value, (3) P-value, (4) Block (replication), (5) Nitrogen, (6) Residual (wplot error), (7) Hybrid, (8) Nitrogen×Hybrid, (9) Residual (subplots error), (10) Total

Megállapítható, hogy mindkét vizsgált tényező (nitrogén és hibrid) főhatása  $P=0,1\%$ -os szinten szignifikáns, kölcsönhatásuk azonban nem szignifikáns, ezáltal a főhatások önmagukban értelmezhetők. Az MS értékek alapján a nitrogén hatása mintegy ötszöröse volt a fajta hatásának. A termésadatok ábrázolásából kitűnt, hogy a hibridek termésreakciója hasonló volt, a különbség főként a termésszintben mutatkozott meg (ábrát nem közöltük).

#### *A split-plot kísérlet analízise kevert (mixed) modellel (REML)*

Az output először listázza a fix és random modell tényezőket és jelzi a reziduális tényezőt. A varianciakomponensek becslése következik minden tényezőre a random modellben. A varianciakomponens becsüli a tényező bennő variabilitását. Általában pozitív, jelezve, hogy az egységeknek annál nagyobb a variabilitása, minél nagyobbak. Itt a blokk variabilitása nagyobb, mint a főparcella a blokkon belül. A varianciakomponensek azonban néha negatívak, jelezve, hogy a nagyobb egységek kevésbé variabilisek, mint ezt várhatnánk az alegységek hozzájárulásából. Az output ezután megadja a maradék variancia becslését, amely ugyanaz, mint a maradék MS az ANOVA "Maradék (alparcella hiba)" sorában (2. táblázat).

2. táblázat. A split-plot kísérlet variancia komponensei az REML analízis alapján

Paraméter (1)	Becslés (2)	SE (3)
Blokk variancia komponens (4)	1,0204	0,874
Főparcella (blokkon belül) variancia komponens (5)	0,0647	0,0997
Maradék variancia (6)	0,542	0,1278

Table 2. Variance parameters of split-plot experiment for the REML analysis. (1) Parameter, (2) Estimate, (3) Standard error, (4) Block variance component, (5) Whole-plot within block variance component, (6) Residual variance

A 3. táblázat mutatja a fő különbséget a két analízis között. Az REML a fix tagok tesztelésekor kiszámítja a Wald statisztikát mindegyik fix tényezőre. Ha az elrendezés ortogonális, a Wald statisztika egyenlő az ANOVA-ban a kezelés eltérésnégyzet összeg (SS) és a hozzátartozó reziduális (maradék) közepes négyzetes eltérés (MS) hányadosával. A Wald statisztika osztva a szabadságfokával, egy F mutatót eredményez,  $F_{m,n}$ , ahol  $m$  a fix tag szabadságfokának száma, és  $n$  a fix taghoz tartozó maradék szabadságfokának száma.

3. táblázat. A split-plot kísérlet Wald-típusú F-tesztje a fix modellben

Fix tényezők (1)	Wald mutató (2)	n.d.f. †	F-érték (3)	d.d.f. ‡	P-érték (4)
Nitrogén (5)	443,83	3	147,94	9	<0,001
Hibrid (6)	115,29	3	38,43	36	<0,001
Nitrogén×Hibrid (7)	18,67	9	2,07	36	0,059
Tényezők kihagyása a modellből (8)					
Nitrogén×Hibrid (7)	18,67	9	2,07	36	0,059

Megjegyzés: † n.d.f. tartalmazza a Wald mutató szabadságfokát és az F-mutató szabadságfokának számlálóját, ‡ d.d.f. tartalmazza az F-mutató szabadságfokának nevezőjét.

Table 3. Wald-type F-tests for fixed effects in the split-plot experiment. (1) Fixed term, (2) Wald statistic, (3) F statistic, (4) P-value, (5) Nitrogen, (6) Hybrid, (7) Nitrogen×Hybrid, (8) Dropping feasible terms from the model. Note: † n.d.f. contains the degrees of freedom for the Wald statistic, and the numerator degrees of freedom of the F statistic. ‡ d.d.f. contains the denominator degrees of freedom of the F statistic.

### A kevert (mixed) modell további alkalmazásai

#### *Meta analízis (REML)*

Az REML-t használjuk a lineáris vegyes (mixed) modellek analízisére. Az REML használata a meta analízisben megmutatja, hogyan lehet eltérő adatsorozatokat egyidejűleg analizálni, hogy megkapjuk a kezelések kombinált becslését.

A meta-analízist *Payne et al.* (2017) egy fungicid kísérlet analízisével mutatta be, melyet búzában állítottak be három különböző évben, ugyanazon a helyen. A kísérletben két fajta volt, egy érzékeny és egy rezisztens, és tíz különböző fungicid kezelés. A kísérletet három ismétlésben állították be. A kísérleti egységek (parcellák) száma évenként 60 volt. Split-plot elrendezést használtak minden évben, azonban a fajták képezték a főparcellákat 1997-ben, míg 1998-ban és 1999-ben a fungicid kezelések voltak a főparcellák. Ugyanazok voltak a kezelések, azonban eltérő kísérleti elrendezések voltak a különböző években, jóllehet a blokk-struktúra azonos volt. Először évenként analizáljuk a kísérletet a Linear Mixed Model (lineáris kevert modell) (REML) alkalmazásával. Ezt követi az évenkénti kísérletek kombinált értékelése a Multiple Experiments/Meta Analysis (REML) menüvel folytatódott. A fix modell: fungicide\*cultivar, a random modell: experiment\*fungicide\*cultivar.

#### *Inkomplett blokk elrendezés analízise kevert modellel*

A kevert modellek fő felhasználási területe az inkomplett blokk elrendezésű kísérletek analízise. A kísérleti egységek száma, melyek egy természetes, homogén blokkot képeznek, gyakran sokkal kisebb, mint az összehasonlítandó kezelések száma. Kiegyensúlyozott inkomplett blokk elrendezés használható ilyen esetekben. Ha egy kiegyensúlyozott inkomplett blokk elrendezést az ANOVA módszerével analizálunk, a kezelések szignifikanciáját teszteljük a blokkok közötti és a blokkon belüli variabilitással. Ha az analízis kevert modellel történik, egyetlen összevont szignifikancia-vizsgálatot végzünk. Várhatóan ez növeli a statisztikai erőt.

A kísérleti elrendezésekre vonatkozó korai irodalomban (pl. *Cochran és Cox* 1957) erős hangsúly volt az egyensúlyon, amely szükséges volt a statisztikai analízishez. Az elektronikus számítógépek és a kevert modellek

kifejlesztése azonban lehetővé tette számos olyan kísérleti elrendezés kidolgozását, melyekben az egyensúly követelménye mérséklődött.

A mixed modell előnyösen alkalmazható a nem-kiegyensúlyozott elrendezésekre olyan esetekben, amikor a tökéletes egyensúlyt bonyolult elérni. Nem kiegyensúlyozott adatok származhatnak előre nem látható körülmények miatt (pl. betegség epidémia, szárazság vagy áradás). Az adatok kiegyensúlyozatlansága arra vonatkozik, hogy különböző számú megfigyelésünk van egy faktor szintjeiben vagy különböző faktorok szintjeinek kombinációjában a kísérletben. A statisztikai analízis és a hipotézisvizsgálat érvényes marad, ha a hiányzó adat teljesen véletlen feltétele valós. A nem kiegyensúlyozott adatokkal az ANOVA megközelítő F-értékeket ad a hipotézisek tesztelésére. A nem-kiegyensúlyozott elrendezés azonban mindig hatékonyság-vesztéssel jár, és a kutatónak olyan elrendezést kell választani, amely közel kiegyensúlyozott.

– *Példa:* három baktérium oltóanyag hatását vizsgálták egy gyepnövény két fajtájának (A és B) száraz tömegére. A kísérletet négy ismétlésben, split-plot elrendezésben állították be. A fajták képezték a főparcellát és az oltóanyag (Inokulum) volt az alparcella faktor. Az oltóanyag három szintje volt: kontroll (CON), élő (LIV) és elhalt (DEA). A kísérlet alapadatait Yang (2010) közölte.

Az analízist ANOVA és REML modellel végeztük. Mindkét analízis kimutatta az oltóanyag 0,1%-os szinten szignifikáns hatását. A fajták és a fajta×oltóanyag hatása nem volt szignifikáns. Az élő oltóanyag (LIV) szignifikánsan növelte a gyepnövény szárazanyagát a kontrollhoz viszonyítva. Az ANOVA táblázat megadja az F és P értékeket a variáció minden forrására, beleértve a fix és random hatásokat. A kevert modell (REML) output az F és P értékeket csak a fix hatásokra adja meg és becsüli a variancia komponenseket a random hatásokra. A reziduális variancia az REML modell outputban azonos az ANOVA táblázat hiba MS értékével (4. táblázat). Mindkét analízis teljesen azonos eredményt adott, beleértve a kezeléslagokat és az SE (standard hiba) értékeket. Az eredmények megegyeznek Yang (2010) által közölt adatokkal.



4. táblázat. A split-plot kísérlet analízise ANOVA vs. REML modellel

Forrás (1)	ANOVA			REML		
	d.f.	MS	F-érték (2)	P-érték (3)	F-érték (2)	P-érték (3)
Ismétlés (4)	3	8,44	2,67		0,8800¶	
Fajta (5)	1	2,407	0,76	0,447	0,76	0,447
Ismét.×Fajta (6)	3	3,16	4,48		0,8182¶	
Inok. (7)	2	59,09	83,76	<0,001	83,76	<0,001
Fajta×Inok. (8)	2	0,913	1,29	0,310	1,29	0,310
Hiba B (9)	12	0,705			0,705¶	

Megjegyzés: ¶ A random hatások variancia komponensei az ismétlésre (blokk), ismétlés×fajta interakcióra és a hibára.

Table 4. Analysis of split-plot experiment by ANOVA vs. REML. (1) Source, (2) F-value, (3) P-value, (4) Replication, (5) Cultivar, (6) Replication×Cultivar, (7) Inoculi, (8) Cultivar×Inoculi, (9) Error B. Note: ¶ variance components of random effects for replications (blocks), replication×cultivar interactions and errors, respectively.

A nem-kiegyensúlyozott split-plot kísérlet illusztrálására vegyük ugyanezt a kísérletet, azonban tételezzük fel, hogy az első ismétlésben minden "A" fajta adata hiányzik (három adathiány a 24 összes adatból). Többen rámutattak, hogy az ANOVA kevésbé megfelelő, ha hiányzó adatok vannak. Ez még nyilvánvalóbb, ha összehasonlítjuk az REML modell alapján végzett analízissel. Az ANOVA és az REML modell F és P értékei eltérőek. Továbbá, az ANOVA nem képes korrekten becsülni a legkisebb négyzetek átlagát és a hozzátartozó SE értékeket az "A" fajtára, az oltóanyag (Inok) minden szintjére és minden fajta×oltóanyag kombinációra, mely magában foglalta az "A" fajtát. Ezzel szemben az REML korrekt adatokat ad a kezelésekre és a standard hibára (SE) egyaránt (5. táblázat).

5. táblázat. A fix hatások legkisebb négyzet (LS) átlagai és standard hibái (SE) a split-plot kísérletben, hiányzó adatokkal (az I. ismétlésben az "A" fajta hiányzik)

Hatás (1)	Fajta (2)	Inokulum (3)	ANOVA		REML	
			LS átlag (4)	SE (5)	LS átlag (4)	SE (5)
Fajta (2)	A		30,41	0,57	30,15	0,85
Fajta (2)	B		30,73	0,57	30,73	0,75
Inokulum (3)		Con (7)	28,27	0,28	28,14	0,71
Inokulum (3)		Dea (8)	30,10	0,28	29,97	0,71
Inokulum (3)		Liv (9)	33,34	0,28	33,21	0,71
Fajta×Inokulum (6)	A	Con (7)	28,52	0,39	28,26	0,93
Fajta×Inokulum (6)	A	Dea (8)	29,56	0,39	29,29	0,93
Fajta×Inokulum (6)	A	Liv (9)	33,16	0,39	32,89	0,93
Fajta×Inokulum (6)	B	Con (7)	28,03	0,39	28,03	0,82
Fajta×Inokulum (6)	B	Dea (8)	30,65	0,39	30,65	0,82
Fajta×Inokulum (6)	B	Liv (9)	33,53	0,39	33,53	0,82

Table 5. Least squares (LS) means and standard errors (SEs) of fixed effects in the split-plot experiment as calculated by ANOVA vs. REML analysis with the observations for replication I and cultivar "A" missing. (1) Effect, (2) Cultivar, (3) Inoculi, (4) Least squares means, (5) Standard error, (6) Cultivar×Inoculi, (7) Control, (8) Dead, (9) Live

#### *A tartamkísérletek analízise kevert (mixed) modellel*

Az adatok (pl. a termés) egy tartamkísérletből minden kezelt parcellán végzett ismételt mérések formájában vannak. Mivel a talajtermékenység és a parcellára jellemző más faktorok a különböző években korrelálnak, ugyanazon a parcellán mért termésekről logikusan nem feltételezhető, hogy független hibákkal rendelkeznek. Ugyanazon a parcellán az időben (pl. évente) végzett mérések közötti korrelációt sorozat korrelációnak (serial correlation) hívjuk. A sorozat korreláció fontosságának becslése a tartamkísérletek analízisének elválaszthatatlan része. Még a tartamkísérletekkel összefüggő egyedülálló probléma (a fix és random hatások keveredése) nélkül is, az időben ismételt mérési adatok egy speciális kihívást jelentenek a statisztikai analízisben (Loughin 2006).

Már Cochran (1939) felismerte, hogy a tartamkísérlet adatok olyanok, mint az osztott parcellás elrendezésből származó adatok. Egy tulajdonság

különböző időben végzett ismételt mérései hasonlóak a főparcellán végzett ismételt mérésekkel az alparcella faktor különböző szintjein. Feltárta továbbá, hogy a sorozat korrelációk a mérések között, amelyeket viszonylag közeli időpontokban végeztünk, valószínűleg nagyobbak, mint a távolabbi időpontokban végzett mérések között. Ténylegesen nem javasolta az ismételt mérések analízisét úgy, mintha osztott parcellás elrendezésből származnának, mivel az utóbbi értelemszerűen feltételezi, hogy a korreláció minden idő-pár között egyenlő. Ennek ellenére, az ismételt mérési adatok osztott parcellás analízise, amelyben az idő (év) az alparcella faktor (és természetesen nem randomizált), virágkorát élte napjainkig (*Steel és Torrie 1980, Petersen 1994*). Ez a megközelítés jogosan kritizálható, főleg azon az alapon, hogy a randomizációs teóriával nem igazolható (pl. *Yates 1954*). Népszerűsége abból ered, hogy az analízis viszonylag egyszerű. A split-plot modell nagyon egyszerű korrelációs struktúrát tartalmaz az ismételt mérésekre, ezért használata a tartamkísérletek adatsorozatainak analízisére kevésbé javasolható.

Az utóbbi időben megnőtt a népszerűsége az ismételt mérésekkel kapcsolatos korrelációs struktúra modellezésének a mixed modellek keretében. Három fő előnye: (i) a korrelációs modellek jelenléte, (ii) számos hiba tényező beépítésének lehetősége és (iii) az inkomplett blokk elrendezések adatainak analízise (*Payne 2015*).

A vetésforgó tartamkísérleteknek fontos szerepe van az alternatív termesztési rendszerek tanulmányozásában, betekintést nyújtanak a javasolt új stratégia hatásába sokkal reálisabban, mint a rövid időtartamú kísérletek. A vetésforgó kísérletek célja különböző növényi sorrendek hatásának összehasonlító vizsgálata a növény tulajdonságokra (pl. termés) és a nem növény (pl. talaj) tulajdonságokra. A rotációs kísérletek analízisének hasonló módszereket használunk, mint a többi szántóföldi kísérletnél, figyelembe kell azonban venni néhány sajátosságot (*Payne 2016*):

1. Az eredményeket több évben rögzítjük és ezek különböző nagyságú variációt mutatnak.
2. Ugyanazon a parcellán a méréseket több éven keresztül végezzük és az eredmények nem egyforma korrelációs struktúrát mutathatnak. A korrelációk a megfigyelések között csökkennek a nagyobb időbeni távolsággal.

3. Egy növény hatása függhet attól, hol helyezkedik el a rotációs cikluson belül.
4. Lehet, hogy nincs más ismétlés, mint az évek.
5. A kezeléshatások kumulálódnak vagy csökkennek a kísérlet időszakában. Az alapkezelések (műtrágyák, növénytermesztési eljárások, peszticidek stb.) vagy akár a rotációk összetétele változhat a kísérlet során, hogy lépést tartjunk az elfogadott termesztési gyakorlattal.

Az REML módszer a lineáris kevert modellek analízisére lehetővé teszi az évenként eltérő reziduális varianciák becslését a kombinált analízis során. Lehetővé teszi továbbá modellek illesztését a korrelációhoz. A vetésforgó kísérletek analízisét REML modellel *Payne* (2016) mutatta be. Az első lépés az analízisben, létrehozni megfelelő random modellt. Ez magában foglalja különböző random modellek illesztését, mindegyiket a teljes fix modellel. Az Akaike vagy Schwarz Bayesian információs kritériumot használjuk általánosan arra, hogy melyik modellt válasszuk ki. A legjobb modell az, amelyiknél a választott kritériumnak legkisebb az értéke. Miután a megfelelő random modellt meghatároztuk, a kezelés modell becsülhető, hogy lássuk, van-e szükségtelen fix tag. A standard módja ennek, hogy megvizsgáljuk a Wald statisztikákat. Az F-mutató használható arra, hogy megkapjuk a valószínűséget. A végső fix modell alapján értékeljük a kísérletet.

## IRODALOM

- Árendás T.–Bónis P.–Molnár D.–Sarkadi J.*: 2004. Foszfor-utóhatások erdőmaradványos csernozjom talajon a karbonátosság függvényében. *Agrokémia és Talajtan*. 53: 111–124.
- Berzsenyi Z.*: 1993. A N-műtrágyázás és az évjárat hatása a kukorica hibridek (*Zea mays* L.) szemtermésére és N-műtrágya reakciójára tartamkísérletben az 1970–1991. években. *Növénytermelés* 42. 1: 49–63.
- Berzsenyi Z.*: 2015. Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése. Agroiinform Kiadó.
- Box, G. E.*: 1976. *Science and Statistics*. J. Am. Stat. Assoc. 71: 791–799.
- Cochran, W. G.*: 1939. Long-term agricultural experiments. J. R. Statist. Soc. [Ser. A]. 6: 104–108.
- Cochran, W. G.–Cox, G. M.*: 1957. *Experimental design*. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley & Sons. New York.

- Fisher, R. A.*: 1921. Studies in crop variation. I. An examination of the yield of dressed grain from Broadbolk. *J. Agric. Sci.* 11: 107–135.
- Fisher, R. A.*: 1925. Statistical methods for research workers. Oliver and Boyd. Edinburgh. UK.
- Galwey, N. W.*: 2006. Introduction to mixed modelling. Wiley & Sons. England.
- Guerin, L.–Stroup, W. W.*: 2000. A simulation study to evaluate PROC MIXED analysis of repeated measures data. [In: Proc. 12th Kansas State Univ. Conf. on applied statistics in agriculture.] Kansas State Univ. Manhattan. 170–203.
- Ireland, C.*: 2010. Experimental statistics for agriculture and horticulture. CABI. Wallingford. UK.
- Izsáki, Z.*: 2009. Effect of nitrogen supply on the nutrition of maize. *Comun. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 960–973.
- Kismányoky T.*: 2018. A talaj humusztartalmának változása különböző trágyázási rendszerekben, kukorica tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 67. 3: 35–49.
- Loughin, T. M.*: 2006. Improved experimental design and analysis for long-term experiments. *Crop Sci.* 46: 2492–2502.
- McIntosh, M. S.*: 2016. Analysis of variance and hypothesis testing. [In: Glaz, B.–Yeater, K. M. (eds.) Applied statistics in agricultural, biological, and environmental Sciences.] ASA, CSSA and SSSA. Madison. USA. 19–52.
- Mead, R.–Curnow, R. N.–Hasted, A. M.*: 2003. Statistical methods in agriculture and experimental biology. 3th ed. Chapman & Hall. London. UK.
- Nagy J.*: 2017. Klímaváltozás és a műtrágyázás hatása a kukorica termésére debreceni tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 66. 3: 11–32.
- Neyman, J.–Pearson, E. S.*: 1928a. On the use and interpretation of certain test criteria for purposes of statistical inference: Part I. *Biometrika.* 20A: 175–240.
- Neyman, J.–Pearson, E. S.*: 1928b. On the use and interpretation of certain test criteria for purposes of statistical inference: Part II. *Biometrika* 20A: 263–294.
- Neyman, J.–Tokarska, B.*: 1936. Errors of the second kind in testing "Student's" hypothesis. *J. Am. Stat. Assoc.* 31: 318–326.
- Payne, R. W.*: 2015. The design and analysis of long-term rotation experiments. *Agron. J.* 107: 772–785.
- Payne, R. W.*: 2016. The design and analysis of long-term rotation experiments. [In: Glaz, B.–Yeater, K. M. (eds.) Applied statistics in agricultural, biological, and environmental Sciences.] ASA, CSSA and SSSA. Madison. USA. 299–317.
- Payne, R. W.–Welham, S.–Harding, S.*: 2017. A guide to REML in Genstat. 19th ed. VSN International. Hertfordshire. UK.
- Pepó P.*: 2020. Termesztéchnológiai tényezők kölcsönhatásának vizsgálata őszi búza és kukorica tartamkísérletekben. *Növénytermelés.* 69. 1: 53–72.
- Petersen, R. G.*: 1994. Agricultural field experiments: Design and analysis. Marcel Dekker. New York.

- Piepho, H. P.–Büchse, A.–Emrich, K.:* 2003. A Hitchiker's guide to mixed models for randomized experiments. *J. Agronomy & Crop Science.* 189: 310–322.
- Piepho, H. P.–Büchse, A.–Richter, C.:* 2004. A mixed modelling approach for randomized experiments with repeated measures. *J. Agronomy & Crop Science.* 190: 230–247.
- Sárvári M.–Futó Z.:* 2001. A vetésidő hatása a különböző genetikai adottságú kukorica hibridek termésére. *Növénytermelés.* 50. 1: 43–60.
- Steel, R. G. D.–Torrie, J. H.:* 1980. Principles and procedures of statistics: Biometrical approach. 2nd ed. McGraw-Hill. New York.
- Stroup, W. W.:* 2016. Analysis of non-Gaussian data. In: [In: Glaz, B.–Yeater, K. M. (eds.) Applied statistics in agricultural, biological, and environmental Sciences.] ASA, CSSA and SSSA. Madison. USA. 449–509.
- Sváb J.:* 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Yang, R. C.:* 2010. Towards understanding and use of mixed-model analysis of agricultural experiments. *Can. J. Plant Sci.* 90: 605–627.
- Yates, F.:* 1954. The analysis of experiments containing different crop rotations. *Biometrics.* 10: 324–346.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Berzsenyi Zoltán  
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem  
Kaposvári Campus Növénytermesztési-tudományok Intézet  
Kaposvár  
Guba Sándor u. 40.  
H-7400  
profberzsenyi.zoltan@gmail.com



**SZEMLE****Review****Milyen okok állnak a gabonákkal szembeni érzékenység  
hátterében?****II. A gabona-feldolgozás hatásai az egészségre káros  
komponensekre**

<sup>1</sup>BÉKÉS FERENC – <sup>2</sup>ÁCS PÉTERNÉ – <sup>3</sup>D. A. I. SUTER – <sup>2</sup>ÁCS KATALIN –  
<sup>2</sup>LANTOS CSABA – <sup>2</sup>CSEUZ LÁSZLÓ – <sup>2</sup>PAUK JÁNOS

<sup>1</sup>FBFD, Sydney, NSW2151, Ausztrália

<sup>2</sup>Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

<sup>3</sup>Pymble, NSW2073, Ausztrália

**Összefoglalás**

Ha a primitív búzában és valamennyi történelmi búzafajtában éppúgy, mint a modern kenyér- és durum búzafajtákban jelen vannak az egészségre potenciálisan ártalmas komponensek, milyen okok állhatnak a napjainkban folyamatosan emelkedő gabona-érzékenység hátterében? Miért tudtak nagyszüleink a mai búzáknál semmivel sem kevésbé toxikus/allergén alapanyagokból egészségre kevésbé ártalmas kenyeret előállítani? Ennek a kérdésnek érdemi megválaszolása a ma használatos feldolgozási gyakorlat összehasonlítását kívánja a nagyapáink által alkalmazott módszerekkel. Vizsgálataink a gabona-feldolgozó iparon túl mindazon élelmiszeripari ágazat tevékenységét érinti, ahol alap- vagy adalékanyagként gabona eredetű komponens kerül az élelmiszerbe.

Megállapítást nyer, hogy az egyes feldolgozási technológiák – elsősorban a fermentációs idő – jelentős hatással vannak a fogyasztásra szánt gabona alapú termékek azon beltartalmi komponenseire, melyek a gabonákkal szembeni érzékenység kialakulásáért felelősek.



**Kulcsszavak:** gliadin degradáció, amiláz-tripszin inhibitor (ATI), FODMAP, kovászos tészta, gluténmentes étrend, NTD

## **What are the reasons behind the sensitivity to cereals? II. The effects of cereal processing on the components harmful to health**

<sup>1</sup>F. BÉKÉS - <sup>2</sup>P.-NÉ ÁCS - <sup>3</sup>D. A. I. SUTER - <sup>2</sup>K. ÁCS - <sup>2</sup>CS. LANTOS -  
<sup>2</sup>L. CSEUZ - <sup>2</sup>J. PAUK

<sup>1</sup>FBFD, Sydney, NSW2151, Australia

<sup>2</sup>Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

<sup>3</sup>Pymble, NSW2073, Australia

### **Summary**

If primitive wheats, as well as all historic and modern bread wheat cultivars, contain harmful amounts of toxic epitopes, why do we have increased numbers of reported cases of wheat sensitivity nowadays? Our grandparents produced breads from the same kind of 'harmful' wheat as we have, today. Is the bread we consume today also the same as that of our grandparents? To answer for this question, we need today's processes of making bread to be investigated and compared with those in our grandparents' era. This investigation must be extended beyond the baking industry to monitor the changes in processing and formulation across the entire food industry. Processing technologies, first of all the fermentation process during doughmaking can significantly alter the levels of harmful components in baked products.

**Keywords:** gliadin degradation, ATIs, FODMAP, sour dough, gluten-free diet, NTD

## Какие причины стоят в основе чувствительности к зерновым? II. Влияние обработки зерна на вредные для здоровья компоненты

<sup>1</sup>Ф. БЕКЕШ – <sup>2</sup>П.-НЕ АЧ – <sup>3</sup>Д. А. А. СУТЕР – <sup>2</sup>К. АЧ – <sup>2</sup>Ч. ЛАНТОШ –

<sup>2</sup>Л. ЧЕУЗ – <sup>2</sup>Я. ПАУК

<sup>1</sup>FBFD, Sydney, NSW2151, Australia

<sup>2</sup>Некоммерческое ООО Исследования зерна, г.Сегел

<sup>3</sup>Pymble, NSW2073, Australia

### Резюме

Если в примитивных пшеницах и во всех исторических сортах пшеницы точно также, как и в современных хлебных – и в твёрдых (дурум) сортах пшеницы присутствуют потенциально вредные для здоровья компоненты, то какие причины могут стоять в основе постоянно растущей в наши дни чувствительности к пшенице? Почему могли наши прародители производить из не менее токсичного/аллергичного сырья по сравнению с сегодняшней пшеницей менее вредный для здоровья хлеб? Полный ответ на этот вопрос требует сравнения применяемой сегодня практики переработки с методами переработки, использованными нашими прародителями. Наши исследования затрагивают деятельность всех отраслей пищевой промышленности, шире, чем только переработка пшеницы, где пшеница в качестве основного или дополнительного компонента попадает в продукт.

Установили, что отдельные технологии переработки – в первую очередь ферментационное время – оказывают значительное влияние на те компоненты внутреннего содержания предназначенных для потребления продуктов, основанных на пшенице, которые ответственны за формирование чувствительности к пшенице.

**Ключевые слова:** деградация глиадина, ингибиторы амилазы-трипсина (АТІ), FODMAP, хлебная закваска, безглютеновое питание, NTD

## Bevezetés

A táplálkozással összefüggő megbetegedések, azon belül is a gabonákkal szembeni érzékenység az elmúlt évtizedekben ugrásszerű növekedést mutat világszerte. A gluténmentes diétát követők száma növekvő tendenciát mutat, bár ennek valós (diagnosztizált) alapja sok esetben vitatott. Bármiféle tudományos bizonyíték, illetve megalapozott ismereti háttér nélkül a gabonák okozta egészségügyi problémákért sok esetben a modern növény-nemesítést okolják. A köztudat szerint a búza ősi, primitív rokonai, mint pl. a tönköly, alakor vagy tönke búza, illetve a régi, történelmi búzafajták egyáltalán nem, vagy jóval kevésbé károsak, mint a modern, nemesítéssel előállított búzafajták. *Békés et al. (2021), Suter és Békés (2021)* összefoglaló cikkében vizsgálta az érzékenységeket kiváltó reaktív komponensek (gliadin, glutenin, ATI, fruktán) jelenlétét modern és klasszikus (történelmi) fajtákban. Az eredmények azt mutatták, hogy a reaktív komponensek mennyisége nem változott, vagy éppen hogy csökkent a nemesítési munkák előre haladtával. Az eredmények tehát egyértelműen kizárják annak lehetőségét, miszerint a modern növény-nemesítés okolható a gabonaérzékenység gyakoriságának növekedéséért. Jelen tanulmány azokat a gabonákkal összefüggésben álló változásokra kíván rámutatni, melyek magyarázatot adhatnak a betegségek kialakulásáért.

### Gabona alapú élelmiszeripari adalékanyagok alkalmazása

Bár e kérdéskör teljes körű epidemiológiai feltárása eddig nem történt meg, *Kucek et al. (2015)* leszögezi, hogy a megnövekedett gabonákkal szembeni érzékenység időben egybeesik a gabona alapú adalékanyagok, így a sikér, az inulin és a fruktózsirup alkalmazásának térhódításával. Amióta Basil Regan és Leonard Winch az ausztráliai Fielders Mills cégnél 1938-ban kidolgozta a búzakeményítő gyártás melléktermékeként keletkező sikér ipari méretű szárítás technológiáját (*Day et al. 2006*), azóta a "vitális glutén" az egész világon az élelmiszeripar közkedvelt adalékanyagává vált (*Hesser 1987*). A szárított sikér, olcsó és funkcionális szempontból előnyös tulajdonságú fehérjeforrás, az 1970-es, 1980-as évek óta az ipar minden ágazatában felhasználást nyert (*Hesser 1987, Day 2011, Ortolan és Steel 2017*). A vitális

sikér javítja a sütőipari termékek szerkezeti integritását, ugyanakkor olcsóbb fehérjeadalék, mint akár a szója- vagy a tejeredetű fehérjeadalékok. Épp ezért általánosan alkalmazzák gyengébb minőségű lisztek feljavítására, növelve a vízfelvevő képességüket, javítva sütőipari minőségüket. Teljes magőrleményekből készült termékeknél további előnyös tulajdonsága, hogy jó kötőanyagként funkcionál (*Atchison et al.* 2010).

Először *Kasarda* (2013) mutatott rá, hogy bár a modern búzafajták sikértartalma fokozatosan csökkent az elmúlt ötven évben, étrendünkben az elfogyasztott sikér mennyisége egyre növekedett a vitális glutén élelmiszeripari alkalmazása folytán. *Atchison et al.* (2010) felmérése szerint a szupermarketekben található élelmiszerek 29,5%-a (a levesporok 86%-a, a konzervek 65%-a, a jégkrémek 61%-a, különféle szószok 26%-a, a lekvárok 23%-a, és a bébiételek 21%-a) tartalmaz sikért, mint sűrítő, emulzifikáló, gélesítő adalékot. A sütőipar után a húsipar használja volumenben a legtöbb vitális glutént (*Day et al.* 2006). Fontos leszögezni, hogy ezekben az alkalmazásokban, az adalékanyagként bevitt sikér komponensei intaktak maradnak. Sem a búza saját hidroláz enzimejei, sem a sütőipari termékek gyártása során az alkalmazott élesztő enzimejei nem csökkentik bennük az eredeti gliadin, amiláz-tripszin inhibitor vagy FODMAP tartalmat. *Leduc et al.* (2003) közöl egy esetet, amikor egy cöliákias vagy allergén tünetet addig nem produkáló egyén anafilaxiás rohamot kapott sikér adalékot tartalmazó húskészítmény fogyasztása után. Izolált búzafehérjék kozmetikai szerekben történő alkalmazásakor nem ritka a különféle bőrgyógyászati tünetek megjelenése (*Lauriere et al.* 2006).

A másik potenciálisan ártalmas gyakran használt élelmiszer-adalék a fruktóz szirup, illetve az inulin. A fruktóz szirup különféle édesítőszerekben történő alkalmazásának mértéke több mint 60%-kal nőtt 1978 óta (*Gibson et al.* 2007, *Marriott et al.* 2009). A különféle reggeli cereáliákban, cukrászati termékekben, sőt esetenként kenyérben is gyakorta használnak cikóriából, illetve Jeruzsálemi articsókából izolált inulin-típusú fruktánokat a rost-, illetve zsiradék tartalom helyettesítésére, alacsony zsírtartalmú készítményekben. Emellett az inulin másik gyakori alkalmazási területe a sikérmentes készítményekben van, ahol szín- és aroma-kiegészítőként, illetve a rosttartalom növelésére használják. Az inulin mértéktartó fogyasztása általában hasznos, de túlzott mértékben való alkalmazásakor fruktózfelszívódási tünetek

léphetnek fel, különösen IBS-ben és NCWS-ben szenvedők esetében figyelhető ez meg (*Capriles és Areas 2014*).

### **Malmi műveletek hatása a gabonaérzékenység szempontjából fontos komponensekre**

A kémiai összetétel a búzaszem különböző rétegeiben más és más (*Jones et al. 2015*). Ennek következtében az alkalmazott malmi technológiától függően, az ártalmas komponensek mennyisége és összetétele is változhat. A cisztein-típusú proteázok az aleuron rétegben szintetizálódnak (*Hammerton és Ho 1986*), így a korpa eltávolítása a fehér lisztben alacsonyabb proteolitikus aktivitást eredményez (*Hartmann et al. 2006, Schwalb et al. 2012*).

A három gliadinosztály eloszlása jellegzetes az egyes morfológiai részek között. A cöliákia szempontjából kulcsfontosságú  $\alpha$ -gliadinok zöme a szub-aleuron rétegben lokalizálódik, így tekintélyes mennyiségük eltávolítható a hengermalmi feldolgozás során. Ugyanakkor az endospermiumban szintetizált  $\gamma$ -gliadinokban és HMW glutenineknél feldúsulás tapasztalható. A magbelső egészében megtalálható  $\omega$ -gliadinok mennyisége a lisztben nem érzékeny a malmi feldolgozásra (*Tosi et al. 2011*).

Az amiláz-tripszin inhibitorok (ATI) oligomerek, a keményítőszemcsék felületéhez tapadva védik azt a rovarok és emlősök enzimjeinek lebontásával szemben. A búzaborpa ATI általi pékasztma IgE szintje mintegy duplája a fehér lisztben mérhető értékhez képest (*Armentia et al. 2012*).

A fruktánok eloszlása sem egyenletes a gabonaszemekben. Ennek következtében a malmi frakciók fruktántartalma eltérő, legmagasabb a finom korpa (*shorts*) frakcióban. A kiőrlési százalék függvényében változó a fehér lisztben (*Knudsen 1997, Haska et al. 2008*). Nemcsak a fruktántartalom, hanem annak polimerizációs foka is különböző a fehér és teljes kiőrlésű lisztben. Ez azért lényeges, mert a fehér liszt alacsonyabb polimerizáltságú fruktánja könnyebben emészthető a bélben, így az IBS-es tünetek kiváltása szempontjából veszélyesebb, mint a hosszabb fruktánpolimereket tartalmazó teljes kiőrlésű liszt fruktántartalma (*Nilsson et al. 1987, Praznik et al. 2002*). Ugyanakkor az alacsony polimerizáltságú fruktánok könnyebben és gyorsabban emészthetők az élesztő számára (*Knez et al. 2014*).

### Mikrobiális enzimek használata a sütőiparban

A modern sütőipari technológiák széles körben alkalmaznak különféle, a sütőipari minőséget javító mikrobiológiai eredetű enzimet –  $\alpha$ -amilázt, xilanázt, glükamilázt, cellulázt,  $\beta$ -xilozidázt – adalékanyagként. Ezek kapcsolata a pékségek dolgozói körében előforduló allergiás rendellenességekkel, a pékasztmával és dermatitisszel régóta ismert (Quirce et al. 1992, Morren et al. 1993, Baur et al. 1998, Sander et al. 1998, Quirce et al. 2002, Tatham és Shewry 2008). Ezért szigorú munkahelyi előírások rögzítik alkalmazásuk módját a dolgozók egészségének védelmében (De Vos et al. 2018). Ugyanakkor a késztermékek fogyasztói számára ezek az adalékanyagok egyáltalán nem veszélyesek, lévén allergén hatásukat csak a munkahelyi érintkezés, illetve belélegzés alkalmával képesek kifejteni.

### A tésztakészítési dagasztási pihentetési eljárások hatásai

#### *A sikérfehérjék változásai*

A kenyérszta élesztő hatására bekövetkező fermentációja a kenyérgyártási technológia kritikus fázisa, ami meghatározza a tészta reológiai sajátosságait, illetve a végső kenyérállagot, térfogatot és ízt. Az élesztősejtek által termelt CO<sub>2</sub> és egyéb metabolitok nagyszámú biokémiai reakciók – a fermentáció – termékei. E folyamatok tekintélyes része a tészta szénhidrát- és fehérjekomponenseinek enzimikus lebontásával kapcsolatos. A fermentációs folyamat hatékonyságát számos körülmény befolyásolja, így az élesztő típusa, a tésztában jelenlévő adalékanyagok, a hőmérséklet és nem utolsósorban a fermentációs idő. A tradicionális kenyérgyártási technológia minimum hat órás fermentációs időt alkalmazott (Kulp 1993, Struyf et al. 2017).

A sikérfehérjék tésztakészítés alatti proteolitikus lebomlásának vizsgálata több mint 70 évre tekint vissza (Frazer et al. 1959, Messer et al. 1964). Ellentétben a humán emésztési proteázokkal, a mikrobiológiai (élesztő és laktobacillus) eredetű proteázok képesek a sikérfehérjék mintegy 10–15%-nyi prolinja melletti peptidkötések hidrolízisére. Ennek következtében kis, kilenc aminosavnál kevesebbet tartalmazó peptidok keletkeznek (Stepniak et al. 2006, Walter et al. 2015).

A kovászos (sour dough) fermentáció a kenyérgyártás meghatározó jelentőségű válfaja, amely magas élvezeti értékű, jellegzetes aromájú, kiváló állagú terméket produkál. A kovász víz és laktobacillus (LAB) kultúrával előfermentált liszt keveréke, amely a savas kémhatás következtében számos – semleges pH-n nem aktív – proteáz aktiválódása miatt intenzív fermentációt eredményez (Melim-Miguel et al. 2013, Gobbetti et al. 2014).

A kovászos kenyér Közép- és Kelet-Európa hagyományos kenyere, de a technológia különféle változatai a világ más részein is évszázadok óta használatosak, nemcsak kenyér, de különféle pékáruk, kekszek (lagaccio), sütemények (panettone) gyártására is. Ezek a hagyományos sütőipari termékek a nyugati országokban, különösen angolszász területeken (USA, Ausztrália) napjainkban egyre növekvő népszerűségnek örvendenek (Ross 2018). Az említett alkalmazások mindegyikénél hosszú, 8–12 órás fermentációs idővel kelesztik a tésztát (De Vuyst és Neysens 2005).

Az elmúlt 20 évben számos stratégiát alkalmaztak a kutatók a sütőipari termékekben lévő, egészségre potenciálisan veszélyes komponensek mennyiségének redukálására. Egyik leghatásosabbnak talált módszer a LAB proteázok alkalmazása a kovászos tésztakészítés folyamán, illetve a LAB propil-oligopeptidáz enzimek adalékanyagként való használata élesztős technológia során (Di Cagno et al. 2002, 2004, 2010; Rollan et al. 2005, Gerez et al. 2006, 2012; Rizzello et al. 2007, 2014; Ganzle et al. 2008, Caputo et al. 2010, Greco et al. 2011, Guillianini 2012, Deora et al. 2014, Engstrom et al. 2015, Walter et al. 2015, Heredia-Sandoval et al. 2016, Kristensen 2016). A legtöbb esetben ezek a próbálkozások sikerrel jártak, csökkentve a termékek immunogenitását, nemcsak kenyerek, de egyéb termékek, például pizza (Pepe et al. 2003), sőt száraztészta (De Angelis et al. 2010) esetén is. Egyes esetekben (Loponen et al. 2003, 2007) megfigyelték, hogy az enzimes kezelés hatására a glutenin frakció részlegesen depolimerizálódik, egyes HMW glutenin alegységek is hidrolizálódnak, mindennek következtében a funkcionális tulajdonságok negatívan változnak.

Több publikáció hangsúlyozza a fermentációs idő szignifikáns szerepét mind az élesztős, mind a kovászos technológia esetén. A számottevő határfokú proteolízis előfeltétele a minimum négy órás fermentációs idő (Thiele 2003, Thiele et al. 2004, Zotta et al. 2006, Couch 2016, Siddiqi et al. 2016, Sakandar et al. 2019).

*FODMAP-tartalom*

*Nilsson et al.* (1987) már a '80-as évek végén leírta a tészta fruktántartalmának 40–75%-os csökkenését fermentáció során. Mint azt későbbi összehasonlító vizsgálatok egyértelműen igazolták, ez a változás az élesztő invertáz enzim oxidatív reakciójának eredménye (*Knez et al.* 2014, *Gélinas et al.* 2016). *Verspreet et al.* (2013) különféle, köztük invertáz gént nem tartalmazó mutáns élesztőtörzsek hatását vizsgálva teljes, részleges és hatástalan lebontási szinteket talált. *Nilsson et al.* (1987), *Rakha et al.* (2011) és *Praznik et al.* (2002) igazolták, hogy a fruktánlebomlás határfoka polimerizációs szint függő: a hosszabb fruktánláncok ellenállóbbak az invertázhatással szemben. Többben ezzel magyarázzák azt a megfigyelést, hogy a búzához képest a rozstészta fruktántartalma sokkal ellenállóbb a fermentáció alatti lebomlással szemben (*Nilsson et al.* 1987, *Fretzdorff és Welge* 2003, *Andersson et al.* 2009).

*Ziegler et al.* (2016) vizsgálatai mutatnak rá a fermentációs idő fontos szerepére a FODMAP-lebomlás vonatkozásában. Míg egy 1 órás fermentáció alig módosította a tészta raffinóz- és fruktántartalmát, addig a 4,5 órás fermentáció eredményeképpen a kenyérbúza tészta esetén 70%, tönkölybúza esetén 90%-os fruktánlebomlást lehetett kimutatni. Ahogy erre *Schober et al.* (2002) és *Frakolaki et al.* (2018) rámutattak, az általában gyengébb funkcionális tulajdonságokkal rendelkező tönkölybúza feldolgozásakor a pékségek legtöbbször a hagyományos, hosszú fermentációs időt tartalmazó technológiát alkalmazzák, és így a speltából készült kenyerek – alacsonyabb fruktánszintjük miatt – jobban tolerálhatók az IBS-ben szenvedő betegek számára. Ez az alkalmazott technológia különbségből, nem pedig az alapanyag fajspecifikus tulajdonságaiból adódó különbségből volt kimutatható azon felmérés alapján, amiben *Suter et al.* (2018) Ausztráliában, kereskedelmi forgalomból származó kenyérbúza és tönkölybúza kenyerek FODMAP tartalmát hasonlították össze.

A legfrissebb szakirodalmi adatok értelmében a sütőipari termékek fruktánszintje önmagában nem ad valós képet a termék fogyaszthatóságával kapcsolatban IBS-ben szenvedők számára. *Struyf et al.* (2017, 2018), valamint *Benítez et al.* (2018) mutatnak rá a teljes szénhidrát-profil követésének fontosságára, különös tekintettel a fruktóz és glükóz arányának szerepére a végtermékben, amely a kiindulási anyag adataitól függetlenül az élesztőtörzs-



választásnak, illetve a fermentációs paramétereknek (fermentációs idő, hőmérséklet) a függvénye.

Az élesztős fermentációnál szignifikánsan hatékonyabb a FODMAP-tartalom csökkenése a kovászos kenyérgyártás során (*Nilsson et al.* 1987, *Kucek et al.* 2015). A savas körülmények intenzifikálják az invertáz katalizálta lebontási folyamatokat, aminek következtében a hosszú fermentációs idővel előállított kovászos kenyér bizonyítottan kisebb valószínűséggel okoz tüneteket IBS-ben szenvedőknél (*Costabile et al.* 2014).

Az alapanyag, a mikroba faj és fajta, valamint a fermentációs körülmények komplex hatásának legjobb összefoglalója *Loponen és Ganzle* (2018), valamint *Grausgruber et al.* (2019) munkáiban található meg.

#### *A fermentáció hatása az ATI-tartalomra*

Általában a hőközléssel, mikrobiológiai fermentációval, pH-vátoztatással járó élelmiszeripari feldolgozó műveletek csökkentik a búza allergén komponenseinek hatását (*Pasini et al.* 2001). A kezeletlen búzaliszthez viszonyítva az ATI bioaktivitás 20, illetve 50%-kal csökken keksz-, illetve kenyérgyártás során (*Zevallos et al.* 2017). *Huang et al.* (2020) fluoreszcenciával jelölt ATI tetramerek adagolásával végzett kovászos kenyérgyártási kísérlete szerint, az aszparagin proteázok aktiválása folytán a tetramerek tekintélyes hányada hidrolizálódott, és ennek eredményeképpen az *in vitro* mért élettani mutatók értékei csökkentek.

#### **A különféle dagasztási/fermentációs módszerek összehasonlítása**

A korai 1980-as évekig a kenyérgyártás élesztővel és legalább hatórás fermentációs idővel történt világszerte. 1961-ben Nagy-Britanniában a Sütőipari Tudományos Egyesület (British Bakers Industry Research Association, BBIRA) kidolgozta az úgynevezett Chorleywood vagy más néven No-Time-Dough (NTD) technológiát (*Chamberlain et al.* 1961). Ez a módszer intenzív, nagy energiaátvitelt biztosító Tweedy dagasztó berendezéseket és számos, addig nem alkalmazott adalékanyagot használ a tésztakészítésnél. A legfontosabb módosítása a hagyományos technológiához képest, hogy a fermentációs idő lecsökkent maximum egy órára (*Cauvain és Young* 2006). Következésképpen a kenyérgyártási folyamat egésze sokkal gyorsabbá és

szignifikánsan olcsóbbá vált. A NTD technológia 10-15 év leforgása alatt szinte egyeduralmódóvá vált szerte a világon.

*Suter et al.* (2019ab) egyazon kenyérbúza és tönkölybúza lisztből sült kenyeret NTD módszerrel és hosszú fermentációs idejű élesztős (LFYD) és kovászos (LFSD) technológiával, nyomon követve a lisztek eredeti gliadin- és fruktánszintjeinek változását a gyártástechnológia során, illetve a végtermékekben. Míg az NTD kenyerek gliadin- és fruktántartalmai alig változtak a lisztekhez képest, a két lisztalkotó drasztikus csökkenése volt észlelhető mindkét hosszú fermentációval készült kenyértípusban (*1. ábra*).

A lisztek gliadintartalmának 87%-a és 85%-a maradt meg a búzalisztből, illetve tönkölylisztből készült NTD kenyerekben, míg a fruktántartalom kevesebb mint 5%-kal csökkent a technológia hatására. A mért fruktántartalmak ( $W_{NTD}=1,10\%$ ,  $S_{NTD}=0,96\%$ ) összhangban vannak a kereskedelmi forgalomból származó kenyerek vizsgálatokor mért értékekkel (*Suter et al.* 2018). Ezen marginális csökkenésekkel összehasonlítva szignifikánsak a változások a hosszú fermentációval készült kenyerekben. Mind az élesztős, mind a kovászos módszer esetén a kenyerek gliadintartalma a következők szerint csökkent a lisztek adatainak %-ában:  $W_{LFYD}=65,1\%$ ,  $W_{LFSD}=88,6\%$ , illetve  $S_{LFYD}=59,4\%$ ,  $S_{LFSD}=90,4\%$ , míg ugyanezen összehasonlítás a fruktántartalmakra:  $W_{LFYD}=85,1\%$ ,  $W_{LFSD}=88,9\%$ , illetve  $S_{LFYD}=93,0\%$  és  $S_{LFSD}=98,4\%$ -os csökkenést mutatott.

A fenti adatokból levonható következtetés az, hogy a gliadin- és fruktántartalom csökkenés legfontosabb paramétere a fermentációs idő. A kovászos tésztakészítés az élesztős procedúrával összehasonlítva jobb hatásfokú, de ez a technológia sem képes gliadinmentes kenyeret előállítani.

### A cél – 'egészséges' kenyér előállítása

Számos olyan eset ismeretes, hogy egyesek, különféle rendellenességet észleltek magukon kenyérbúza termékek fogyasztása után, viszont tünetmentesek maradtak tönkölylisztből készült terméket fogyasztva (*Stallknecht et al.* 1996, *Vu et al.* 2014). *Biesiekierski et al.* (2011) mindennek magyarázatát a tönköly alacsonyabb FODMAP tartalmában kereste.

Régóta ismeretesek anekdotikus esetek, ahol gabonák okozta rendellenességben szenvedő nem cöliákias egyének, bizonyos tönköly fajták termékeit

gond nélkül képesek voltak fogyasztani. Az első, meggyőző - kísérleti és statisztikai módszerekkel elvégzett - klinikai kísérlet, amely ezeknek a megfigyeléseknek a valós voltát bizonyította, 2012-ben került közlésre (*Armentia et al.* 2012).

Az *Aestivum* és tönköly lisztek eltérő techno-funkcionális sajátosságai miatt igen gyakran nem egyező kenyérgyártási technológiával dolgozzák fel az alapanyagokat (*Schober et al.* 2002). A legtöbb, a fogyasztóhoz eljutó tönköly termék manufakturális, kis pékségekben kerül ki, ahol gyakorlatilag kivétel nélkül hagyományos, hosszú fermentációs LAB technikával készítik a termékeket. Ez a kenyérgyártás technológiában meglévő eltérés lehet a tönköly termékekkel szembeni jobb tolerancia alapja.

A hosszú fermentációval előállított kenyerek gliadin összetételének az *1. ábrán* (A) bemutatott RP-HPLC alapú analízise azt mutatja, hogy a kétféle alkalmazott mikroorganizmus proteáz enzimjei különböző preferenciával bontják le a lisztben található gliadin polipeptideket. A kenyerek nemcsak különböző mennyiségben tartalmazzák a le nem bontott gliadinokat, de az egyes gliadin fehérjék relatív eloszlása a termékekben más és más. Ez felveti annak a lehetőségét, hogy a két módszer előnyös sajátosságait egyesítsük, élesztős technológiával kelesszünk kenyeret különféle laktobacillus eredetű proteázok, mint adalékanyagok jelenlétében.

Az alacsony gliadin- és/vagy fruktántartalommal rendelkező, természetes, ősi (primitív) búzafajok és fajták felhasználása a nemesítésnek új és nagy-szerű kihívás. Különösen akkor, ha a legmodernebb genetikai módszereket (például gene silencing vagy gene editing) is figyelembe vesszük, annak érdekében, hogy az egészségre káros komponenseket nem, vagy alacsonyabb szinten tartalmazó, új fajtákat hozzunk létre. Az így nemesített új fajtákból - megfelelő feldolgozás-technológiák alkalmazásával - az említett káros komponensek remélhetőleg teljesen kiküszöbölhetők lesznek, vagy lényegesen csökkenthetők. A fermentáció enzimatisz hidrolízisével kiegészítve pedig olyan termékek hozhatók létre, amelyet a gabonákkal szemben érzékenyek is fogyasztani tudnak. Ezek a termékek még nagyapáink kenyérénel is egészségesebbek lehetnek.

1. ábra. A gliadin- (A) és fuktántartalmak (B) változásai különböző kenyérgyártási [no-time-dough (NTD), hosszú fermentációs idejű élesztős (LFYD), valamint kovászos (LSD)] eljárásokkal előállított kenyérbúza (W) és tönkölybúza (S) kenyerekben

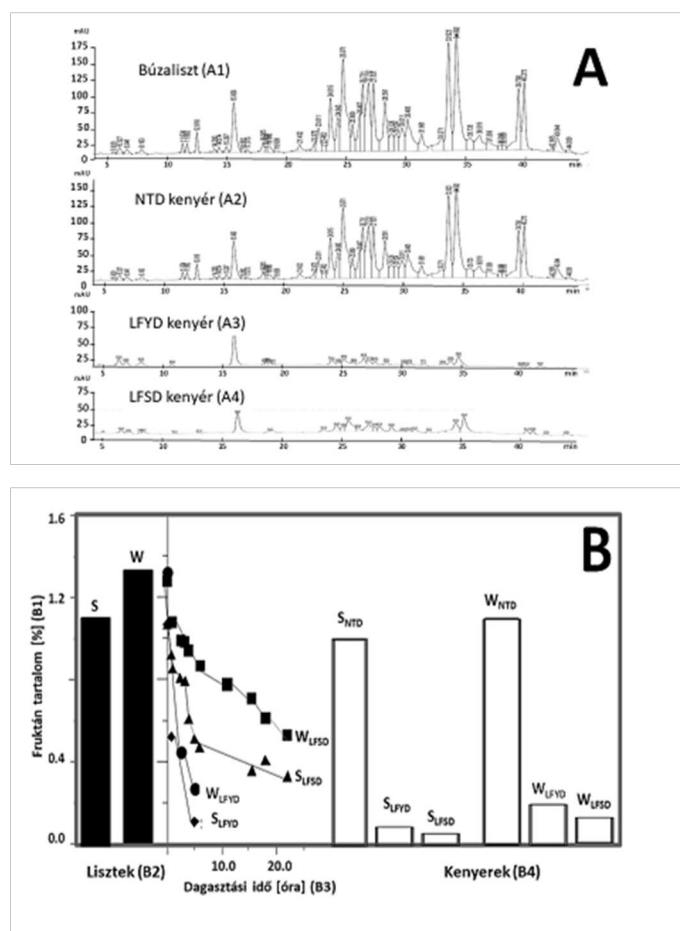


Figure 1. The alteration of gliadins (A) and fructan content (B) during different wheat breadmaking (NTD - no-time dough, LFYD - long fermentation yeasted and LFSD - long fermentation sour dough) processes, made from wheat (W) and spelt (S) flour, Legend: (A1) Wheat flour, (A2) NTD bread, (A3) LFYD bread, (A4) LFSD bread, (B1) Fructan content (%), (B2) Flour types, (B3) Kneading time (h), (B4) Breads

### Köszönetnyilvánítás

A kutatás az OTKA-K 16-119835 pályázat anyagi támogatásával, nemzetközi kooperációban készült. A szerzők köszönetüket fejezik ki Dr. C. W. Wrigley-nek a munkához adott tanácsaiért, javaslataiért. Köszönjük Matt Durrant-nek (Berkelo Sütremöde, Brookvale, NSW 2100, Ausztrália) a sütési kísérletekben való közreműködését.

### IRODALOM

- Andersson, R.–Fransson, G.–Tietjen, M.–Åman, P.*: 2009. Content and molecular-weight distribution of dietary fiber components in whole-grain rye flour and bread. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57: 2004–2008.
- Armentia, A.–Martín, S.–Díaz-Perales, A.–Palacín, A.–Tordesillas, L.–Herrero, M.–Martín-Armentia, M.*: 2012. A possible hypoallergenic cereal in wheat food allergy and baker's asthma. *American Journal of Plant Sciences*. 3: 1779–1781.
- Atchison, J.–Head, L.–Gates, A.*: 2010. Wheat as food, wheat as industrial substance; comparative geographies of transformation and mobility. *Geoforum*. 41: 236–246.
- Baur, X.–Sander, I.–Posch, A.–Raulf-Heimsoth, M.*: 1998. Baker's asthma due to the enzyme xylanase – a new occupational allergen. *Clinical & Experimental Allergy*. 28: 1591–1593.
- Békés F.–Ács P.–Suter D. A. I.–Ács K.–Lantos Cs.–Cseuz L.–Pauk J.*: 2021. Milyen okok állnak a gabonákkal szembeni érzékenység hátterében? I. A nemesítés hatása a búza emberi egészségre káros komponenseire. *Növénytermelés*. 70. 2: 57–86.
- Benitez, V.–Esteban, R. M.–Moniz, E.–Casado, N.–Aguilera, Y.–Mollá, E.*: 2018. Breads fortified with wholegrain cereals and seeds as source of antioxidant dietary fibre and other bioactive compounds. *Journal of Cereal Science*. 82: 113–120.
- Biesiekierski, J. R.–Rosella, O.–Rose, R.–Liels, K.–Barrett, J. S.–Shepherd, S. J.–Gibson, P. R.–Muir, J. G.*: 2011. Quantification of fructans galacto-oligosaccharides and other short-chain carbohydrates in processed grains and cereals. *Journal of Human Nutrition and Dietetics*. 24: 154–176.
- Capriles, V. D.–Areas, J. A. G.*: 2014. Novel approaches in gluten-free breadmaking: interface between food science, nutrition, and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 13: 871–890.

- Caputo, I.-Lepretti, M.-Martucciello, S.-Esposito, C.: 2010. Enzymatic strategies to detoxify gluten: implications for celiac disease. *Enzyme Research*. 2010: 174354.
- Cauvain, S. P.-Young, L. S.: 2006. A brief history of the Chorleywood Bread Process. [In: Cauvain, S.-Young, L. S. (eds.). *The Chorleywood Bread Process*.] Woodhead Publishing. Cambridge. 6-16.
- Chamberlain, N.-Collins, T. H.-Eltonm, G. A. H.: 1961. The Chorleywood bread process. *BIRS Report*. 59: 1-30.
- Costabile, A.-Santarelli, S.-Claus, S.-Sanderson, J.-Hudspith, B. N.-Brostoff, J.-Ward, J. L.-Lovegrove, A.-Sheury, P. R.-Jones, H. E.-Gibson, G. R.: 2014. Effect of breadmaking process on in vitro gut microbiota parameters in irritable bowel syndrome. *Plos One*. 9: e111225.
- Couch, G. W.: 2016. Effect of Sourdough Fermentation Parameters on Bread Properties. PhD Theses. 2581 Clemson University. Clemson. USA.
- Day, L.: 2011. Wheat gluten: production, properties and application. [In: Phillips, G. O.-Williams, P. A. (eds.) *Handbook of food proteins*.] Woodhead Publishing. Sawston. 267-288.
- Day, L.-Augustin, M. A.-Batey, I. L.-Wrigley, C. W.: 2006. Wheat-gluten uses and industry needs. *Trends in Food Science and Technology*. 17: 82-90.
- De Angelis, M.-Cassone, A.-Rizzello, C. G.-Gagliardi, F.-Minervini, F.-Calasso, M.-Di Cagno, R.-Francavilla, R.-Gobbetti, M.: 2010. Mechanism of degradation of immunogenic gluten epitopes from *Triticum turgidum* L. var. durum by sourdough lactobacilli and fungal proteases. *Applied and Environmental Microbiology*. 76: 508-518.
- De Vos, C.-Simonsen, M.-van Oort, M.-Autton, S.-Alanen, A.-Van Caelenberg, T.: 2018. Industry guidelines on the Safe Handling of Enzymes in the Bakery Supply Chain. Ampfep. Fedima. Brussels.
- De Vuyst, L.-Neysens, P.: 2005. The sourdough microflora: Biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science and Technology*. 16: 43-56.
- Deora, N. S.-Deswal, A.-Mishra, H. N.: 2014. Alternative approaches towards gluten-free dough development: Recent trend. *Food Engineering Review*. 6: 89-104.
- Di Cagno, R.-Barbato, M.-Di Camillo, C.-Rizzello, C. G.-De Angelis, M.-Giuliani, G.-De Vincenzi, M.-Gobbetti, M.-Cucchiara, S.: 2010. Gluten-free sourdough wheat baked goods appear safe for young celiac patients: A pilot study. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*. 51: 777-783.
- Di Cagno, R.-De Angelis, M.-Auricchio, S.-Greco, L.-Clarke, C.-De Vincenzi, M.-Giovannini, C.-D'Archivio, M.-Landolfo, F.-Parrilli, G.: 2004. Sourdough bread made from wheat and nontoxic flours and started with selected lactobacilli is tolerated in celiac sprue patients. *Applied and Environmental Microbiology*. 70: 1088-1096.

- Di Cagno, R.-De Angelis, M.-Lavermicocca, P.-De Vincenzi, M.-Giovannini, C.-Faccia, M.-Gobbetti, M.:* 2002. Proteolysis by sourdough lactic acid bacteria: effects on wheat flour protein fractions and gliadin peptides involved in human cereal intolerance. *Applied and Environmental Microbiology*. 68: 623-633.
- Engstrom, N.-Sandberg, N. S.-Scheers, N.:* 2015. Sourdough fermentation of wheat flour does not prevent the interaction of transglutaminase 2 with  $\alpha$ 2-gliadin or gluten. *Nutrients*. 7: 2136.
- Frakolaki, G.-Giannou, V.-Topakas, E.-Tzia, C.:* 2018. Chemical characterization and breadmaking potential of spelt versus wheat flour. *Journal of Cereal Science*. 79: 50-56.
- Frazer, A. C.-Fletcher, R. F.-Ross, C. A. C.-Shaw, B.-Sammons, H. G.-Schneider, R.:* 1959. Gluten-induced enteropathy the effect of partially digested gluten. *Lancet*. 2: 252-255.
- Fretzdorff, B.-Welge, N.:* 2003. Abbau von getreideeigenen Fructanen während der Herstellung von Roggenvollkornbrot. *Getreide. Mehl und Brot*. 57: 147-151.
- Ganzle, M. G.-Loponen, J.-Gobbetti, M.:* 2008. Proteolysis in sourdough fermentations: Mechanisms and potential for improved bread quality. *Trends in Food Science and Technology*. 19: 513-521.
- Gélinas, P.-McKinnon, C.-Gagnon, F.:* 2016. Fructans, water-soluble fibre and fermentable sugars in bread and pasta made with ancient and modern wheat. *International Journal of Food Science and Technology*. 51: 555-564.
- Gerez, C. L.-Dallagnol, A.-Rollan, G.-de Valdez, G. V.:* 2012. A combination of two lactic acid bacteria improves the hydrolysis of gliadin during wheat dough fermentation. *Food Microbiology*. 32: 427-430.
- Gerez, C. L.-Rollan, G. C.-de Valdez, G.:* 2006. Gluten breakdown by lactobacilli and pediococci strains isolated from sourdough. *Letters in Applied Microbiology*. 42: 459-464.
- Gibson, P. R.-Newnham, E.-Barrett, J. S.-Shepherd, S. J.-Muir, J. G.:* 2007. Review article: fructose malabsorption and the bigger picture. *Alimentary Pharmacology and Therapeutics*. 25: 349-363.
- Gobbetti, M.-Rizzello, C. G.-Di Cagno, R.-De Angelis, M.:* 2014. How the sourdough may affect the functional features of leavened baked goods. *Food Microbiology*. 37: 30-40.
- Grausgruber, H.-Lovegrove, A.-Shewry, P. R.-Békés, F.:* 2019. FODMAP in wheat. [In: Igrejas et al. (eds.) *Improving wheat quality for processing and health.*] Springer. Cham. 515-532.
- Greco, L.-Gobbetti, M.-Auricchio, R.-Maglio, M.-Troncone, R.-Auricchio, S.:* 2011. Safety for celiac patients of baked goods made of wheat flour hydrolyzed during food processing. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*. 9: 24-29.

- Guilliani, G.*: 2012. Method for partial degradation of gluten. Patent: WO 2014/033765 A1.
- Hammerton, R. W.-Ho, T.H. D.*: 1986. Hormonal regulation of the development of protease and carboxypeptidase activities in barley aleurone layers. *Plant Physiology*. 80: 692-697.
- Hartmann, G.-Koehler, P.-Wieser, H.*: 2006. Rapid degradation of gliadin peptides toxic for coeliac disease patients by proteases from germinating cereals. *Journal of Cereal Science*. 44: 368-371.
- Haska, L.-Nyman, M.-Andersson, R.*: 2008. Distribution and characterisation of fructan in wheat milling fractions. *Journal of Cereal Science*. 48: 768-774.
- Heredia-Sandoval, N. G.-Valencia-Tapia, M. Y.-Calderón de la Barca, A. M.-Islas-Rubio, A. R.*: 2016. Microbial proteases in baked goods: Modification of gluten and effects on immunogenicity and product quality. *Foods*. 5: 59.
- Hesser, J. M.*: 1987. Use and functionality of wheat gluten. Proceedings of 3rd International Gluten Workshop. Budapest. 441-455.
- Huang, X.-Schuppan, D.-Tovar, L. E. R.-Zevallos, V. F.-Loponen, J.-Ganzle, M.*: 2020. Sourdough fermentation degrades wheat alpha-amylase/trypsin inhibitor (ATI) and reduces pro-inflammatory activity. *Foods*. 9: 943.
- Jones, J. M.-Adams, J.-Harriman, C.-Miller, C.-Van der Kamp, J. W.*: 2015. Nutritional impacts of different whole grain milling techniques: A review of milling practices and existing data. *Cereal Food World*. 60: 130-139.
- Kasarda, D. D.*: 2013. Can an increase in celiac disease be attributed to an increase in the gluten content of wheat as a consequence of wheat breeding? *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 61: 1155-1159.
- Knez, M.-Abbott, C.-Stangoulis, J. C. R.*: 2014. Changes in the content of fructans and arabinoxylans during baking processes of leavened and unleavened breads. *European Food Research and Technology*. 239: 803-811.
- Knudsen, K. E. B.*: 1997. Carbohydrate and lignin contents of plant materials used in animal feeding. *Animal Feed Science and Technology*. 67: 319-338.
- Kristensen, M. T.*: 2016. Gluten degradation in long time fermented dough. MSc thesis. University of Copenhagen. Denmark.
- Kucek, L. K.-Veenstra, L. D.-Amnuaycheewa, P.-Sorrells, M. E.*: 2015. A grounded guide to gluten: how modern genotypes and processing impact wheat sensitivity. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 14: 285-302.
- Kulp, K.*: 1993. Enzymes as dough improvers. [In: Kamel and Stauffer (ed.) *Advances in Baking Technology*.] Springer. New York. 152-165.
- Lauriere, M.-Pecquet, C.-Bouchez-Mahiout, I.-Sn'egaroff, J.-Bayrou, O.-Raison-Peyron, N.-Vigan, M.*: 2006. Hydrolysed wheat proteins present in cosmetics can induce immediate hypersensitivities. *Contact Dermatitis*. 54: 283-289.



- Leduc, V.–Moneret-Vautrin, D. A.–Guerin, L.–Morisset, M.–Kanny, G.–Allerbio, L.–Argonne, V.: 2003. Anaphylaxis to wheat isolates: immunochemical study of a case proved by means of double-blind, placebo-controlled food challenge. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 111: 897–899.
- Loponen, J.–Ganzle, M. G.: 2018. Use of sourdough in low FODMAP baking. *Foods*. 7: 96.
- Loponen, J.–Mikola, M.–Katina, K.–Sontag-Strohm, T.–Salovaara, H.: 2003. Degradation of HMW glutenins during wheat sourdough fermentations. *Cereal Chemistry*. 81: 87–93.
- Loponen, J.–Sontag-Strohm, T.–Venalainen, J.–Salovaara, H.: 2007. Prolamin hydrolysis in wheat sourdoughs with differing proteolytic activities. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55: 978–984.
- Marriott, B. P.–Cole, N.–Lee, E.: 2009. National estimates of dietary fructose intake increased from 1977 to 2004 in the United States. *The Journal of Nutrition*. 139: 1228–1235.
- Melim-Miguel, A. S.–Martins-Meyer, T. S.–da Costa Figueiredo, E. V.–Paulo-Lobo, P. W.–Dellamora-Ortiz, G. M.: 2013. Enzymes in bakery: Current and future trends. [In: Muzzalupo, I. (ed.) *Food Industry*.] Tech. Rijeka. Chapter 14.
- Messer, M.–Anderson, C. M.–Hubbard, L.: 1964. Studies on the mechanism of destruction of toxic action of wheat gluten in celiac disease by crude papain. *Gut*. 5: 295–303.
- Morren, M. A.–Janssens, V.–Dooms-Goossens, A.–Van Hoeyveld, E.–Cornelis, A.–De Wolf-Peeters, C.–Heremans, A.: 1993. Alpha-Amylase, a flour additive: an important cause of protein contact dermatitis in bakers. *Journal of the American Academy and Dermatology*. 29: 723–728.
- Nilsson, U.–Oste, R.–Jagerstad, M.: 1987. Cereal fructans: Hydrolysis by yeast invertase, *in vitro* and during fermentation. *Journal of Cereal Science*. 6: 53–60.
- Ortolan, F.–Steel, C. J.: 2017. Protein characteristics that affect the quality of vital wheat gluten to be used in baking: A review comprehensive. *Reviews in Food Science and Food Safety*. 16: 369–381.
- Pasini, G.–Simonato, B.–Giannattasio, M.–Peruo, A. D. B.–Curioni, A.: 2001. Modifications of wheat flour proteins during *in vitro* digestion of bread dough, crumb, and crust: An electrophoretic and immunological study. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49: 2254–2261.
- Pepe, O.–Villani, F.–Oliviero, D.–Greco, T.–Coppola, S.: 2003. Effect of proteolytic starter cultures as leavening agents of pizza dough. *International Journal of Food Microbiology*. 84: 319–326.
- Praznik, W.–Cieslik, E.–Filiptak-Florkiewicz, A.: 2002. Soluble dietary fibres in Jerusalem artichoke powders: composition and application in bread. *Nahrung*. 46: 151–157.

- Quirce, S.-Cuevas, M.-Diez-Gomez, M. L.-Fernandez-Rivas, M.-Hinojosa, M.-Gonzalez, R.-Losada, E.: 1992. Respiratory allergy to *Aspergillus*-derived enzymes in bakers' asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 90: 970-978.
- Quirce, S.-Fernandez-Nieto, M.-Bartolome, B.-Bombin, C.-Cuevas, M.-Sastre, J.: 2002. Glucoamylase: another fungal enzyme associated with baker's asthma. *Annals of Allergy, Asthma and Immunology*. 89: 197-202.
- Rakha, A.-Åman, P.-Andersson, R.: 2011. Dietary fiber in triticale grain: Variation in content, composition, and molecular weight distribution of extractable components. *Journal of Cereal Science*. 54: 324-331.
- Rizzello, C. G.-Curiel, J. A.-Nionelli, L.-Vincentini, O.-Di Cagno, R.-Silano, M.-Gobbetti, M.-Coda, R.: 2014. Use of fungal proteases and selected sourdough lactic acid bacteria for making wheat bread with an intermediate content of gluten. *Food Microbiology*. 37: 59-68.
- Rizzello, C. G.-De Angelis, M.-Di Cagno, R.-Camarca, A.-Silano, M.-Losito, I.-De Vincenzi, M.-De Bari, M. D.-Palmisano, F.-Maurano, F.: 2007. Highly efficient gluten degradation by lactobacilli and fungal proteases during food processing: New perspectives for celiac disease. *Applied and Environmental Microbiology*. 73: 4499-4507.
- Rollan, G.-De Angelis, M.-Gobbetti, M.-de Valdez, G. F.: 2005. Proteolytic activity and reduction of gliadin-like fractions by sourdough lactobacilli. *Journal of Applied Microbiology*. 99: 1495-1502.
- Ross, A. S.: 2018. Flour quality and artisan bread. *Cereal Foods World*. 63: 57-62.
- Sakandar, H. A.-Kubow, S.-Azadi, B.-Faryal, R.-Ali, B.-Ghazanfar, S.-Quraishi, U. M.-Imran, M.: 2019. Wheat fermentation with enterococcus mundtii QAUWD01 and *Wickerhamomyces anomalus* QAUWA03 consortia induces concurrent gliadin and phytic acid degradation and inhibits gliadin toxicity in caco-2 monolayers. *Frontiers in Microbiology*. 9: 3312.
- Sander, I.-Raulf-Heimsoth, M.-Siethoff, C.-Lohaus, C.-Meyer, H. E.-Baur, X.: 1998. Allergy to *Aspergillus*-derived enzymes in the baking industry: identification of  $\beta$ -xylosidase from *Aspergillus niger* as a new allergen (Asp n 14). *Journal of Allergy and Clinical Immunology*. 102: 256-264.
- Schober, T. J.-Clarke, C. I.-Kuhn, M.: 2002. Characterization of functional properties of gluten proteins in spelt cultivars using rheological and quality factor measurements. *Cereal Chemistry*. 79: 408-41.
- Schwalb, T.-Wieser, H.-Koehler, P.: 2012. Studies on the gluten-specific peptidase activity of germinated grains from different cereal species and cultivars. *European Food Research and Technology*. 235: 1161-1170.
- Siddiqi, R. A.-Dalbir Singh Sogi, D. S.-Sehajpal, P. K.: 2016. Effect of short-term sourdough fermentation on wheat protein. *Cogent Food Agriculture*. 2: 1-10.

- Stallknecht, G.-Gilbertson, K.-Ranney, J.:* 1996. Alternative wheat cereals as food grains: Einkorn, emmer, spelt, kamut, and triticale. [In: Janick, J. (ed.) New crops, new opportunities, new technologies.] VA ASHS Press. Alexandria. Indianapolis. 156–170.
- Stepniak, D.-Spaenij-Dekking, L.-Mitea, C.-Moester, M.-de Ru, A.-Baak-Pablo, R.-Van Velen, P.-Edens, L.-Koning, F.:* 2006. Highly efficient gluten degradation with a newly identified prolyl endoprotease: Implications for celiac disease. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal Liver Physiology.* 291: 621–629.
- Struyf, N.-Laurent, J.-Lefevre, B.-Verspreet, J.-Verstrepen, K. J.-Courtin, C. M.:* 2017. Establishing the relative importance of damaged starch and fructan as sources of fermentable sugars in wheat flour and whole meal bread dough fermentations. *Food Chemistry.* 218: 89–98.
- Struyf, N.-Verspreet, J.-Courtin, C. M.:* 2018. FODMAP reduction in yeast-leavened whole wheat bread. *Cereal Food World.* 63: 152–154.
- Suter, D. A. I.-Békés, F.:* 2021. Who is to blame for the increasing prevalence of dietary sensitivity to wheat? *CRC.* 49: 1–19.
- Suter, D. A. I.-Békés, F.-Florides, C.-Ács, K.-Durant, M.-Brown, G.:* 2019a. Why do so many consumers purchase “gluten free” breads. Aug 27–29 2019. Australian Grains Science Conference. Melbourne.
- Suter, D. A. I.-Brown, G.-Békés, F.:* 2018. Development of spelt wheat products with low FODMAP content and low allergenicity. 1st Internat. Conf. “Wheat Landraces for healthy food systems”. June 13–15 2018. Bologna. Italy.
- Suter, D. A. I.-Brown, G.-Békés, F.:* 2019b. A possible explanation for the gluten free phenomenon. AIFST conf. Sydney. 1. 7: 19.
- Tatham, A. S.-Shewry, P. R.:* 2008. Allergens to wheat and related cereals. *Clinical and Experimental Allergy.* 38: 1712–1726.
- Thiele, C.:* 2003. Hydrolysis of gluten and the formation of flavor precursors during sourdough fermentation. PhD thesis. Technical University of Munich.
- Thiele, C.-Grassl, S.-Ganzle, M.:* 2004. Gluten hydrolysis and depolymerization during sourdough fermentation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 52: 1307–1314.
- Tosi, P.-Gritsch, C. S.-He, J.-Shewry, P. R.:* 2011. Distribution of gluten proteins in bread wheat (*Triticum aestivum*) grain. *Annals of Botany.* 108: 23–35.
- Verspreet, J.-Hemdane, S.-Dornez, E.-Cuyvers, S.-Delcour, J. A.-Courtin, C. M.:* 2013. Maximizing the concentrations of wheat grain fructans in bread by exploring strategies to prevent their yeast (*Saccharomyces cerevisiae*) mediated degradation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 61: 1397–1404.
- Vu, N. T.-Chin, J.-Pasco, J. A.-Kovács, A.-Wing, L. W.-Békés, F.-Suter, D. A. I.:* 2014. The prevalence of wheat and spelt sensitivity in a randomly selected Australian population. *Cereal Res. Commun.* 43: 97–107.

- Walter, T.-Wieser, H.-Koehler, P.:* 2015. Degradation of gluten in rye sourdough products by means of a proline-specific peptidase. *European Food Research and Technology.* 240: 517-524.
- Zevallos, V. F.-Raker, V.-Tenzer, S.-Jimenez-Calvente, C.-Ashfaq-Khan, M.-Rüssel, N.-Pickert, G.-Schild, H.-Steinbrink, K.-Schuppan, D.:* 2017. Nutritional wheat amylase-trypsin inhibitors promote intestinal inflammation via activation of myeloid cells. *Gastroenterology.* 152: 1100-1113.
- Ziegler, J. U.-Steiner, D.-Longin, C. F. H.-Würschum, T.-Schweiggert, R. M.-Carle, R.:* 2016. Wheat and the irritable bowel syndrome – FODMAP levels of modern and ancient species and their retention during bread making. *Journal of Functional Foods.* 25: 257-266.
- Zotta, T.-Piraino, P.-Ricciardi, A.-McSweeney, P. L. H.-Paente, E.:* 2006. Proteolysis in model sourdough fermentations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 54: 2567-2574.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Ács Péterné – Ács Katalin – Dr. Cseuz László – Dr. Lantos Csaba – \*Dr. Pauk János  
Gabonakutató Non-profit Közhasznú Kft.

Szeged

Alsó kikötő sor 9.

H-6726

janos.pauk@gabonakutato.hu

Dr. Békés Ferenc

FBFD PTY LTD

North Parramatta

Gladstone str. 3/96-100.

Australia

NSW

\*Dr. David A. I. Suter

Pimble

Macquarie str. 42.

Australia

NSW

\*levelező szerző



## ABSTRACT

### **Nutritional values and yield parameters of a sweet maize variety (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern)**

ZS. BAKOS – CS. BOJTOR – Á. ILLÉS – C. DEMETER –

A. ZELENÁK – A. SZABÓ – O. NAGY

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute of Land Utilisation, Engineering and  
Precision Farming Technology, Debrecen

## Introduction

Fresh sweet maize is an increasingly popular food mainly because of its high valuable content values and taste (*Swapna et al.* 2020). New results in sweet maize research are expected, mainly due to its increasing role in healthy nutrition, however, breeding and production technology challenges are also expected in the context of sustainability and climate change (*Revilla et al.* 2021). Significant research is being carried out to determine the quality composition of sweet maize and to examine and analyse the factors influencing this composition. It is also important to determine the mineral, xanthophyll and phenolic acid contents. Research has shown that sweet maize has higher levels of magnesium, phosphorus and potassium than other types of maize (popcorn) (*Prasanthi et al.* 2017). Storage of sweet maize after harvesting is important. Soluble sugars, vitamin C content and wet weight decrease with increasing temperature (*Xie et al.* 2017). In sweet maize, the concept of yield is not only the amount of dry matter but also the amount of fresh kernels (high water content). The goal should not only be to maximize yield, but also to benefit the consumer by increasing nutritional quality.

### Materials and methods

The agronomic parameters, yield and essential nutrient content of a publicly available super sweet maize hybrid (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern) were examined in an experiment on chernozem soil at the Faculty of Agricultural and Food Science and Environmental Management (DE MÉK) of the University of Debrecen. Quality parameters were determined under laboratory conditions from grain samples taken at harvest at the DE MÉK Agricultural Instrument Centre. The following parameters were determined in accredited laboratory: phosphorus, magnesium, iron and zinc concentration, content of carotenoids (lutein, zeaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin and  $\beta$ -carotene) and sugar content (fructose, glucose and saccharose).

### Results

The average harvested parameters of the sweet maize variety are the followings: fresh weight of the corn cob: 214.75 g per plant, fresh weight of the grain: 113 g per plant. With 60 000 plants per ha at the field these values are 12.885 tons per ha and 6.78 tons per ha, respectively. The analysis of the macro- and micronutrient concentration of the grain resulted in high values of the phosphorus, magnesium, iron and zinc concentration. 4455.25 mg kg<sup>-1</sup> phosphorus, 1530.25 mg kg<sup>-1</sup> magnesium, 26.75 mg kg<sup>-1</sup> iron and 26.75 mg kg<sup>-1</sup> zinc were measured, respectively. The laboratory analysis of the carotenoid and sugar content of the grain showed the following results. As for the carotenoids, 9.57 mg kg<sup>-1</sup> lutein, 8.93 mg kg<sup>-1</sup> zeaxanthin, 0.725 mg kg<sup>-1</sup>  $\beta$ -cryptoxanthin and 0.185 mg kg<sup>-1</sup>  $\beta$ -carotene were measured, respectively. In addition, 2.45 mg kg<sup>-1</sup> fructose, 2.6 mg kg<sup>-1</sup> glucose and 3.675 mg kg<sup>-1</sup> saccharose were measured in the grain, providing the sweetness of the variety.

### Conclusions

Based on the findings of this experiment, different assessment is needed of the content value of a sweet maize hybrid from the producer's and the consumer's point of view. Producers are interested in high yield, as the

source of their income. Consumers, however, want to consume food with a high nutritional value. By consuming the same amount of sweet maize, more and better quality nutritional value is delivered to the human body in the form of healthier food.

### Acknowledgement

Project no. TKP2020-IKA-04 has been implemented with the support provided from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the 2020-4.1.1-TKP2020 funding scheme, and supported by the EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008. project.

### REFERENCES

- Prasanthi, P. S.-Naveena, N.-Rao, M. V.-Bhaskarachary, K.*: 2017. Compositional variability of nutrients and phytochemicals in corn after processing. *J. Food Sci. Technol.* 54: 1080-1090.
- Revilla, P.-Anibas, C. M.-Tracy, W. F.*: 2021. Sweet Corn Research around the World 2015-2020. *Agronomy.* 11: 534.
- Swapna, G.-Jadesha, G.-Mahadevu, P.*: 2020. Sweet Corn - A Future Healthy Human Nutrition Food. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 9: 3859-3865.
- Xie, Y.-Liu, S.-Jia, L.-Gao, E.-Song, H.*: 2017. Effect of different storage temperatures on respiration and marketable quality of sweet corn. *Adv. Eng. Technol.* 3: 219-224.

Address of the authors:

\*Bakos Zsuzsanna - Bojtor Csaba - Illés Árpád - Demeter Cintia -  
Zelenák Annabella - Szabó Atala - Dr. Nagy Orsolya  
University of Debrecen  
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management  
Institute of Land Utilisation, Engineering and Precision Farming Technology  
Debrecen  
Road Böszörményi 138.  
H-4032  
\*bakos.zsuzsi82@gmail.com





## ABSTRACT

### **The impact of different soil temperatures on the nitrogen stabilizer efficiency in maize (*Zea mays* L.)**

D. RÁCZ - L. DUZS - É. HORVÁTH - P. ZAGYI - A. SZÉLES

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute of Land Utilisation, Engineering and  
Precision Farming Technology, Debrecen

## Introduction

Most responsible for nitrogen (N)-loss from the soil is nitrate leaching that can be effectively mitigated by N-stabilizers containing nitrapyrin (*Zhong-Quing et al.* 2020). This inhibitor slows down selectively the activity of Nitrosomonas bacteria living in the soil, which converts  $\text{NH}_4^+$  to  $\text{NO}_2^-$  ions (*Chen et al.* 2015). Thus, nitrapyrin improves the N-use efficiency in crops with high N-demand, such as maize, can be enhanced and healthier crops, higher yields can be expected. Despite nitrapyrin is known to be effective with its pre-sowing application (*Gupta et al.* 2020), a small number of studies are known which address the effect of soil temperature as an influencing factor on nitrapyrin efficiency (*Keeney* 1980). Since the activity of the bacteria in the soil is the most intense between 25–30 °C (*Taylor et al.* 2019) and the N-demand of the maize is the highest during stalk elongation (*English et al.* 2017), this study aims to investigate the efficiency of the late nitrapyrin treatment and observe its health effects on maize.

## Materials and methods

Under laboratory conditions, the efficiency of nitrapyrin treatment in different temperature soils (10 °C, 15 °C, 20 °C, and 25 °C) was tested.

Changes in nitrate content in control and treated soils were followed up weekly for a month to observe the nitrification dynamic and the efficiency of inhibition. In a field experiment with maize (FAO 490), pre-sowing (13 °C soil) and late application (25 °C soil) of nitrapyrin were examined. The direct efficiency of nitrapyrin treatments was monitored by nitrate content measurements of soil samples, while indirect health effects on maize were observed by measuring the relative chlorophyll content of leaves. To determine the accurate N-content of the crops, laboratory leaf analysis was performed from adult leaf samples.

### **Results**

Results of the laboratory experiment suggest that the higher temperatures enhanced the inhibition of nitrapyrin as a growing difference in nitrate content was observed in higher soil temperatures. In the field experiment, late nitrapyrin treatment was favorable for crops as during the high N-demanding rapid growth stage, sufficient N-forms were available in the soil. Furthermore, late treatment resulted in significantly higher relative chlorophyll content in the leaves and the prevention of N deficiency disease. Results suggest that to ensure a healthier condition of the maize and to improve N-use efficiency, later timing of nitrapyrin treatment is recommended.

### **Acknowledgement**

Project no. TKP2020-IKA-04 has been implemented with the support provided from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the 2020-4.1.1-TKP2020 funding scheme, and supported by the EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008. project.

## REFERENCES

- Chen, Q. H.-Qi, L. Y.-Bi, Q. F.-Dai, P.-Sun, D. S.-Sun, C. L.-Liu, W.-Lu, L. L.-Ni, W. Z.-Lin, X. Y.*: 2015. Comparative effects of 3,4-dimethylpyrazole phosphate (DMPP) and dicyandiamide (DCD) on ammonia-oxidizing bacteria and archaea in a vegetable soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 99: 477-487.
- English, E.-Ketterings, Q.-Czymmek, K.-Gabriel, A.-Flis, F.-Lawrence, J.*: 2017. Nitrogen uptake by corn. Cornell University Cooperative Extension, Agronomy Fact Sheet Series: 98.
- Gupta, M.-Gupta, V.-Kumar, R.-Sharma, B. C.*: 2020. Techniques for enhancing nitrogen use efficiency in cereal crops. [In: Pant et al. (eds.) Three major dimensions of life: Environment, Agriculture and Health.] Society of Biological Sciences and Rural Development. Prayagraj. India. 44-53.
- Keeney, D. R.*: 1980. Factors affecting the persistence and bioactivity of nitrification inhibitors. [In: Meisinger et al. (eds.) Nitrification Inhibitors: Potentials and Limitations.] Agronomy Society of American and Soil Science Society of America. Madison. USA. 33-46.
- Taylor, A. E.-Myrold, D. D.-Bottomley, P. J.*: 2019. Temperature affects the kinetics of nitrite oxidation and nitrification coupling in four agricultural soils. *Soil Biology and Biochemistry*. 136: 107523.
- Zhong-Qing, Z.-Qiang, G.-Jing-Min, Y.-Yan, W.-Jing-Yi, Y.-Xue, Z.-Guo-Zhong, F.-Zhi-Qiang, C.-Shao-Jie, W.-Hong-Ge, S.*: 2020. Fabrication and release behavior of nitrapyrin Microcapsules: Using modified melamine-formaldehyde resin as shell material. *The Science of the Total Environment*. 704: 135394.

Address of the authors:

\*Rác Dalma - Duzs László - Horváth Éva - Zagyi Péter- Dr. Széles Adrienn  
University of Debrecen  
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management  
Institute of Land Utilisation, Engineering and Precision Farming Technology  
Debrecen  
Road Böszörményi 138.  
H-4032  
\*racz.dalma@agr.unideb.hu



## ABSTRACT

### Effect of the different nitrogen supply on the leaf area index and yield parameters of maize

A. SZABÓ – Á. ILLÉS – CS. BOJTOR – ZS. BAKOS – J. NAGY

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Land Utilisation, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

## Introduction

The role of maize is decisive in agriculture. In Hungary 60% of the utilized area land, including 42%, is cultivated with maize in 2019. To examine the effect of nitrogen on yield, it is essential to examine the evolution of LAI as well (Nagy 2021). Due to breeders, the genetic background has significantly improved (Nagy 2021), with priority given to high-yielding genotypes that can utilize nitrogen favorably (Hirel *et al.* 2001). In the different growth stages examined: in 7-9 leaf stage, at tasseling stage and wax maturation, were determined strong correlation between LAI and grain yield ( $r=0.11$ ,  $0.87^{**}$ ,  $0.56^{**}$ ) (Bavec and Bavec 2002). Amanullah *et al.* (2016) suggested that higher N ( $120 \text{ kg ha}^{-1}$ ) doses of nutrient supply resulted in higher LAI values and total dry matter accumulation. Increasing nitrogen doses significantly increased LAI values, measured 1.8 LAI value during the vegetative period and 6.8 LAI value during tasseling stages of 2020 (Ochieng *et al.* 2021). According to Portes and Melo (2014) yield is significantly affected by LAI. During photosynthesis, the leaves play a significant role the most, the determining factor in production of crop is that more than 95% is due to photosynthesis by the leaves. The protein content of maize serves as a function of several ecophysiological variables.

## Materials and methods

Our examinations were conducted in Hungary at the Látókép Experimental Station of the University of Debrecen (47°33'S, 21°26' E, height 111 m). The research experiments, was established in 1983 at the University of Debrecen. The experimental station has calcareous chernozem-type soils with excellent properties are available (Nagy 2019). The humus content of the upper 0–25 cm of the chernozem soil is  $Hu\%=2.7-2.8$ , in the upper section of the soil can be said to be slightly acidic ( $pH_{Kcl}=6.4-6.6$ ), which is favorable from the view of the macro and micronutrient uptake of the crops. Soil in terms of type of clay loam, soil phosphorus supply is AL-soluble  $P_2O_5=133\text{ mg kg}^{-1}$ , potassium supply is  $K_2O=240\text{ mg kg}^{-1}$  (Nagy and Pepó 2015). Two hybrids with different maturity groups, H1=FAO 340, H2=FAO 490 were used in the experiment. Three fertiliser treatments (control without replenishment N:  $0\text{ kg ha}^{-1}$   $P_2O_5$ :  $0\text{ kg ha}^{-1}$   $K_2O$ :  $0\text{ kg ha}^{-1}$ , N:  $120\text{ kg ha}^{-1}$   $P_2O_5$ :  $184\text{ kg ha}^{-1}$   $K_2O$ :  $216\text{ kg ha}^{-1}$ , N:  $300\text{ kg ha}^{-1}$   $P_2O_5$ :  $216\text{ kg ha}^{-1}$ ,  $K_2O$ :  $216\text{ kg ha}^{-1}$ ) were applied in the field trial in 2020. The development of climatic conditions is one of the critical factors in crop production. During the year 2020, the drought was typically in spring. The average daily temperature is  $6\text{ }^\circ\text{C}$ , this was not achieved by the many average ( $10.7\text{ }^\circ\text{C}$ ). The average daily temperatures in the summer season proved to be positive for the growth of maize and the July precipitation ( $147.5\text{ mm}$ ) had a particularly positive impact on the silking. We evaluated the correlation between different nitrogen doses and LAI, yield parameters (ANOVA). In the case of the values of treatment, the 5% significant difference ( $LSD_{5\%}$ ) was defined (Rstudio Team 2016).

## Results

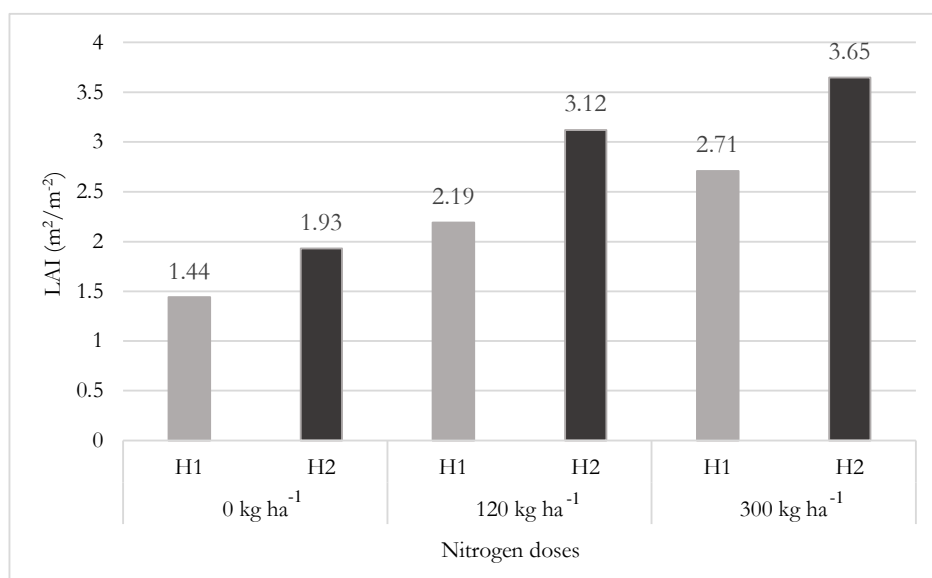
In the production year of 2020, based on the examination results, it can be detectable that nitrogen had a significant difference among different hybrids and LAI values. At all three treatment levels, the H2 hybrid showed a significant difference compared to the H1 hybrid. As regards the LAI values, there were significant difference between hibryds. Based on the  $LSD_{5\%}$  test, the H2 hybrid showed a significant difference compared to the H1 hybrid.

(Figure 1). Concerning the crop yield, there wasn't significant difference among 120 kg ha<sup>-1</sup> and 300 kg ha<sup>-1</sup> N doses.

### Conclusions

The results of the experiment showed that different nitrogen doses determined the LAI values and yield per hectare. The results of the research can help maize growers to achieve the best possible quality and higher yields at the optimal fertilizer dose.

Figure 1. Different nitrogen doses effect on different hybrids and LAI values at average sampling times



### Acknowledgement

Project no. TKP2020-IKA-04 has been implemented with the support provided from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the 2020-4.1.1-TKP2020 funding scheme, and supported by the EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008. project.



## REFERENCES

- Amanullah, Iqbal, A.-Ali, A.-Fahad, S.-Parmar, B.*: 2016. Nitrogen Source and Rate Management Improve Maize Productivity of Smallholders under Semiarid Climates. *Frontiers in Plant Science*. 7.
- Bavec F.-Bavec M.*: 2002. Effects of plant population on leaf area index, cob characteristics and grain yield of early maturing maize cultivars (FAO 100-400). *European Journal of Agronomy*. 16. 2: 151-159.
- Hirel, B.-Bertin, P.-Quiller, I.-Bourdoncle, W.-Attagnant, C.-Dellay, C.*: 2001. Towards a better understanding of the genetic and physiological basis for nitrogen use efficiency in maize. *Plant Physiol*. 125: 1258-1270.
- Nagy J.*: 2019. Komplex talajhasználati, víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérletek 1983-tól a Debreceni Egyetemen. *Növénytermelés*. 68. 3: 5-28.
- Nagy J.*: 2021. Kukorica. A nemzet aranya - Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- Nagy, J.-Pepó, P.*: 2015. Long-term Experiments. University of Debrecen. Debrecen.
- Portes, T. D. A.-Melo, H. C. D.*: 2014. Light interception, leaf area and biomass production as a function of the density of maize plants analyzed using mathematical models. *Acta Scientiarum. Agronomy*. 36: 457-463.
- Ochieng, I. O.-Gitari, H. I.-Mochoge, B.-Rezaei-Chiyaneh, E.-Gweyi-Onyango, J. P.*: 2021. Optimizing maize yield, nitrogen efficacy and grain protein content under different N forms and rates. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 1-14.
- Team, R.*: 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio Inc. Boston. MA. USA. URL: <http://www.rstudio.com>

Address of the authors:

\*Szabó Atala – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Bakos Zsuzsanna – Dr. Nagy János  
University of Debrecen  
Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management  
Institute of Land Utilisation, Engineering and Precision Farming Technology  
Debrecen  
Road Böszörményi 138.  
H-4032  
\*szabo.atala@agr.unideb.hu

## ABSTRACT

### **Germination dynamics of different maize hybrids under different tillage systems**

A. TAMÁS - L. RADÓCZ

University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute of Land Utilisation, Engineering and  
Precision Farming Technology, Debrecen

#### **Introduction**

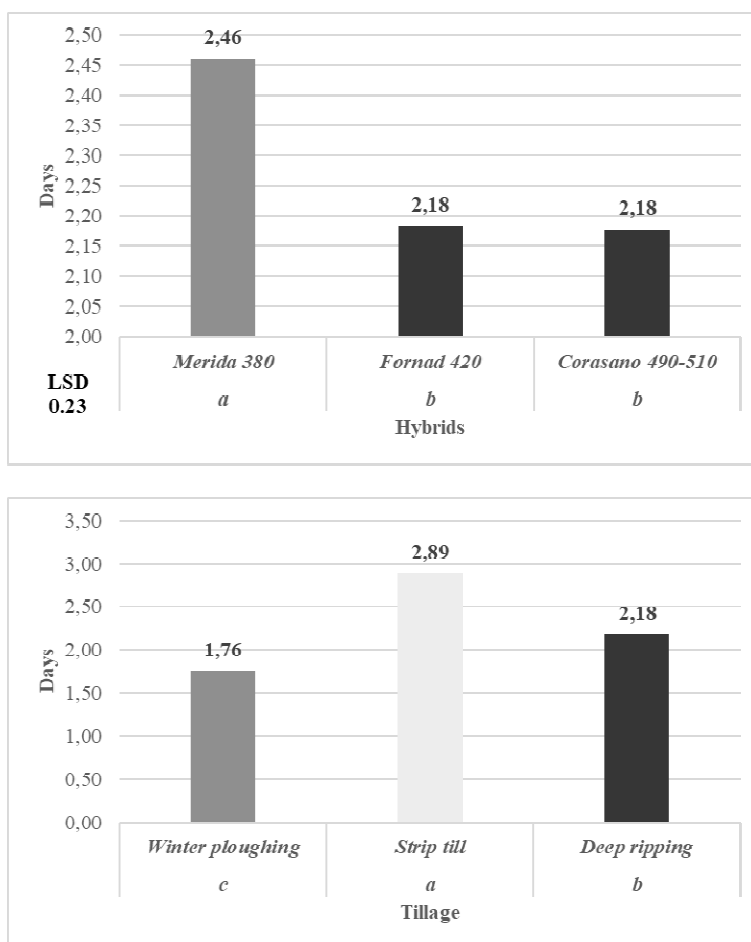
Our study was conducted in the complex long-term tillage experiment at the Látókép Experiment Site with 5 days of recording from emergence. Germination vigor is indicated by the number of germinated grains that germinated from the fourth day after placement (*Nagy 2021*). The number of days from sowing to first seedling emergence is 12. The experiment was set up by testing three different hybrids in each of the three tillage treatments at three nutrient levels in two replicates in a 3 m sample plot. Environmentally friendly tillage practices are the basis for sustainability and climate change mitigation (*Busari et al. 2015*). Split-strip plot model was used for analysing the germination dynamics and the LSD post hoc test was used to compare means (*Huzsvai and Balogh 2015*).

#### **Results**

A significant difference was shown in germination dynamics between the three tested hybrids. There was no difference between Fornad 420 and Corasano 490-510, but there was a significant difference in the case of Merida 380. There is a notable difference between the various tillage methods. All three tillage systems differ significantly from each other in

terms of emergence dynamics of the hybrids. The most homogeneous emergence was observed in the case of autumn ploughing. This was followed by a heterogeneous germination in the loosened tillage and then in the strip tillage. Different nutrient levels had no statistical effect on hybrid germination.

Figure 1. Germination dynamics of hybrids with different genotypes and the effect of different tillage systems on maize germination dynamics (Debrecen, 2021)



### Conclusions

The germination dynamics of maize hybrids with various genotypes are different, but homogeneous germination is not affected. There are significant differences in germination dynamics in the more sustainable and environmentally friendly tillage systems. The precipitation from sowing to emergence was 9.9 mm and the useful heat sum was 27.6 °C. In autumn ploughing, the soil is warmer and therefore the most optimal from the point of view of emergence dynamics. In loosened tillage, the soil heats up more slowly due to the stalk residues left on the stubble, but it is a more economical and environmentally friendly tillage method. Heterogeneous results were observed with strip tillage, which is due to the tillage and will level off as the vegetation progresses.

### Acknowledgement

The research was financed by Project no. TKP2020-IKA-04 has been implemented with the support provided from the National Research, Development and Innovation Fund of Hungary, financed under the 2020-4.1.1-TKP2020 funding scheme and “EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008”. The tillage and sowing are supported by KITE cPlc.

### REFERENCES

- Busari, M. A.-Kukal, S. S.-Kaur, A.-Bhatt, R.-Dulazi, A. A.:* 2015. Conservation tillage impacts on soil, crop and environment. *International Soil and Water Conservation Research*. 3. 2: 119-129.
- Huzsvai L.-Balogh P.:* 2015. *Lineáris modellek az R-ben*. Seneca Books. Debrecen. 98-101.
- Nagy J.:* 2021. *Kukorica. A nemzet aranya - Élelmiszer, takarmány, bioenergia*. Szaktudás Kiadó. Budapest.

Address of the authors:

\*Dr. Tamás András – Radócz László

University of Debrecen

Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management

Institute of Land Utilisation, Engineering and Precision Farming Technology

Debrecen

Road Böszörményi 138.

H-4032

\*tamas.andras@agr.unideb.hu



**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

---