

Crop  
Production

 HERMAN OTTÓ INTÉZET  
NONPROFIT KFT.

# NÖVÉNYTERMELÉS

69. kötet | 1. szám | 2020. március

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



*Nostoc piscinale* biostimulátor levéltrágya kezelés hatása a kukorica prolin tartalmára, relatív víztartalom (RWC) értékére, termésmennyiségre és annak fehérjetartalmára

A 2018–2019. évi időjárás elemzése szántóföldi tartamkísérletekben (Debrecen–Látókép)

Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen–Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával

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

# Növénytermelés

## CROP PRODUCTION

A Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. kiadásában,  
az Agrárminisztérium támogatásával megjelenő folyóirat  
a növénytermesztés, növénynevelés, növénygenetika, növényélettan, agrobotanika  
területén magyar és külföldi szerzők által írt, angol és orosz nyelvű összefoglalókkal  
ellátott tudományos közleményeket, vitacikkeket, szemlét, könyvismertetést közöl.

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

Megjelenés egy kötet négy füzetben.

A Növénytermelést a SCOPUS és a Google Scholar indexeli.

### **Szerkesztőség:**

DEBRECENI EGYETEM MÉK  
4032 Debrecen, Böszörményi út 138.  
4002 Debrecen, Pf. 400  
Telefon: (06 52) 508-310  
Fax: (06 52) 508-460  
E-mail: [novenytermeles@agr.unideb.hu](mailto:novenytermeles@agr.unideb.hu)  
[szelesne@agr.unideb.hu](mailto:szelesne@agr.unideb.hu)

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

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

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

ISSN 0546-8191  
Növényterm 69 (2020) 1  
Printed in Hungary

# Növénytermelés

CROP PRODUCTION

69. kötet, 1. szám, 2020. március

*Főszerkesztő/Editor-in-Chief:*

JÁNOS NAGY

*Szerkesztőbizottság/Editorial Board:*

Z. BERZSENYI, M. BIRKÁS, L. BLASKÓ, CS. GYURICZA, K. INUBUSHI,  
Z. IZSÁKI, M. JOLÁNKAI, T. KISMÁNYOKY, L. CS. MARTON,  
J. NAGY, L. PÁSZTOR, P. PEPÓ, K. RAJKAI, R. SCHMIDT

AGRÁRMINISZTERIUM

A kiadásért felelős a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

A nyomást és kötést a OOK-Press Nyomda végezte

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Dr. Csajbók József

ISSN 0546-8191



## TARTALOM

<i>Illés Árpád – Bojtor Csaba – Ördög Vince – Nagy János: Nostoc piscinale</i> biostimulátor levéltrágya kezelés hatása a kukorica prolintartalmára, relatív víztartalom (RWC) értékére, termésmennyiségére és annak fehérjetartalmára .....	5
<i>Nagy János – Nyéki Anikó – Gombos Béla: A 2018–2019. évi időjárás elemzése</i> szántóföldi tartamkísérletekben (Debrecen–Látókép) .....	21
<i>Nyéki Anikó – Gombos Béla – Nagy János: Nitrogéntrágyázás hatékonyságának</i> vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen–Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával .....	33
<i>Pepó Péter: Termesztéstechnológiai tényezők kölcsönhatásainak vizsgálata</i> őszi búza és kukorica tartamkísérletekben .....	53
<i>Ragán Péter – Sulyok Dénes Zsolt – Csatári Nándor – Vántus András – Hagymássy Zoltán – Nagy János – Harsányi Endre – Rátonyi Tamás: Különböző forrásból származó adatok összefüggéseinek vizsgálata</i> üzemi fajtakísérletben .....	73
<i>Takács Georgina – Póthe Péter – Gergely István – Molnár Zoltán – Nagy János – Ördög Vince: A Nostoc piscinale</i> cianobaktérium biostimuláns hatása a Zephir kukorica hibridre – Mosonmagyaróvár .....	95

## CONTENTS

<i>Á. Illés – Cs. Bojtor – V. Ördög – J. Nagy: The effect of foliar fertilisation with Nostoc piscinale</i> biostimulant on maize proline content, relative water content, yield and its protein content .....	5
<i>J. Nagy – A. Nyéki – B. Gombos: Evaluation of weather of 2018–2019 in long-term field experiments</i> (Debrecen–Látókép) .....	21
<i>A. Nyéki – B. Gombos – J. Nagy: Evaluating the efficiency of nitrogen fertilisation</i> using the Ceres-Maize model and the long-term experiment results of Debrecen–Látókép .....	33
<i>P. Pepó: Examining the interactions between various production technological factors</i> in long term maize and winter wheat experiments .....	53

<i>P. Ragán – D. Zs. Sulyok – N. Csatári – A. Vántus – Z. Hagymássy – J. Nagy – E. Harsányi – T. Rátonyi</i> : Correlation analysis of data of various origin in a field variety experiment .....	73
<i>G. Takács – P. Póthé – I. Gergely – Z. Molnár – J. Nagy – V. Ördög</i> : Biostimulant effects of the <i>Nostoc piscinale</i> cyanobacterium on the SY Zephir 390 maize hybrid –Mosonmagyaróvár .....	95

### СОДЕРЖАНИЕ

<i>А. Илеи – Ч. Бойтор – В. Ёрдог – Я. Надь</i> : Влияние обработок биостимулятором листовых удобрений « <i>Nostoc piscinale</i> » на содержание пролина кукурузы, на величину относительного содержания влаги (RWC), на количество урожая и на содержанием в нём белка .....	5
<i>Я. Надь – А. Ньеки – Б. Гомбош</i> : Анализ погоды 2018–2019 годов в пахотном продолжительном опыте, Debrecen-Látókép .....	21
<i>А. Ньеки – Б. Гомбош – Я. Надь</i> : Исследования эффективности азотного удобрения с моделью «Ceres-Maize» с использованием результатов продолжительного опыта в Дебрецене в Латокепи .....	33
<i>П. Пено</i> : Исследования взаимовлияний факторов технологии выращивания в продолжительных опытах озимой пшеницы и кукурузы .....	53
<i>П. Раган – Д. Ж. Шуйок – Н. Чатари – А. Вантуш – З. Хадьмаши – Я. Надь – Э. Харшани – Т. Ратони</i> : Исследование взаимосвязей данных, происходящих из разных источников, в производственном опыте сорта .....	73
<i>Г. Такач – П. Пётте – И. Гергей Штван – З. Молнар – Я. Надь – В. Оёрдэг</i> : Влияние цианобактериального биостимулятора « <i>Nostoc piscinale</i> » на гибрид кукурузы «Zephir» – Мошонмадяровар .....	95

## ***Nostoc piscinale* biostimulátor levéltrágya kezelés hatása a kukorica prolintartalmára, relatív víztartalom (RWC) értékére, termésmennyiségére és annak fehérjetartalmára**

<sup>1</sup>ILLÉS ÁRPÁD – <sup>1</sup>BOJTOR CSABA – <sup>2</sup>ÖRDÖG VINCE – <sup>1</sup>NAGY JÁNOS

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>Széchenyi István Egyetem MÉK,

Növénytudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

### **Összefoglalás**

A biostimulátor levéltrágyák alkalmazása világviszonylatban elterjedt. A levélen keresztüli táplálás a modern növénytermesztés új technológiai lehetősége, mely közvetlen hatást fejt ki növény fiziológiai folyamataira. A kísérletet a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar campusán található kísérleti területen állítottuk be, kukorica (*Zea mays* L.) tesztnövényvel. Algatartalmú biostimulátor levéltrágya kezelést alkalmaztunk 8 leveles fejlettségi állapotban. A vizsgálatainkat két kezelési koncentrációval (0,3 g/l és 1 g/l) végeztük, amelyeket 400 l/ha vízmennyiséggel, valamint etoxilált izodecil alkohol hatóanyagú tapadásfokozó készítmény hozzáadásával juttattunk ki. A tenyészidőszak során hét alkalommal mértük a növények relatív víztartalmát (RWC). Vizsgáltuk a növények prolin tartalmát, a szemtermés nitrogén- és fehérjetartalmát. Kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy az algakezelés több mint 6%-kal növelte a szemtermés fehérjetartalmát. A tenyészidőszak során a zöld növényi rész prolin tartalma folyamatosan csökkent, ugyanakkor a tenyészidőszak során a kezelt növények prolin tartalma magasabb volt a kontrollhoz képest. A kezdeti növekedési szakaszban a 0,3 g/l koncentrációjú kezelés nagyobb prolin tartalmat eredményezett, mint a magas koncentrációjú kezelés. A 0,3 g/l lombtrágyakezelés hatására 10%-kal, az 1 g/l koncentrációjú kezelés hatására pedig 11%-kal növekedett a termés mennyisége.

Összességében a *Nostoc piscinale* biostimulátor levéltrágya kezelés kedvező hatást gyakorolt a termés mennyiségére és a termés fehérjetartalmára. A tenyészidőszak során az algakezelés növelte a zöld növényi részek prolin tartalmát, amely kedvező hatást gyakorolt a kukorica szárazságstresszel szembeni védekező rendszerére.

**Kulcsszavak:** levéltrágya, prolin, relatív víztartalom

## **The effect of foliar fertilisation with *Nostoc piscinale* biostimulant on maize proline content, relative water content, yield and its protein content**

<sup>1</sup>Á. ILLÉS – <sup>1</sup>CS. BOJTOR – <sup>2</sup>V. ÖRDÖG – <sup>1</sup>J. NAGY

<sup>1</sup>University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute for Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

<sup>2</sup>Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Food Sciences, Department of Crop Sciences, Mosonmagyaróvár

### **Summary**

The use of biostimulant as foliar fertiliser is a globally used technique. Nourishment through the leaves is a new technological opportunity of modern crop production which has a direct effect on the physiological processes of the plant. The experiment was established on the experimental site on the campus of the Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management of the University of Debrecen on maize (*Zea mays* L.) as a test plant. Foliar fertilisation was performed with algae-based biostimulant at the 8-leaf stage. The developments were carried out using two treatment concentrations (0.3 g l<sup>-1</sup> and 1 g l<sup>-1</sup>), applied with 400 l ha<sup>-1</sup> water and ethoxylated isodecyl alcohol as adjuvant. During the growing season, the relative water content (RWC) of plants was measured on seven occasions. The proline content of plants and the nitrogen and protein content of maize yield were also measured. Based on the obtained research findings, it was concluded that algae treatment increased the protein content of grain yield by more than 6%. During the growing season, the proline content of the green vegetable parts decreased constantly, although that of the treated plants



was higher than the control in the same period. In the initial growing period, the 0.3 g l<sup>-1</sup> foliar fertilisation treatment resulted in a higher proline content than the high concentration treatment. As a result of the 0.3 g l<sup>-1</sup> foliar fertilisation treatment, yield increased by 10%, while the 1 g l<sup>-1</sup> treatment increased yield by 11%.

In conclusion, the use of *Nostoc piscinale* biostimulant as a foliar fertiliser had a positive effect on yield its protein content. During the growing season, algae treatment increased the proline content of green vegetable parts, which had a favourable effect on the tolerance of maize to drought stress.

**Key words:** foliar fertiliser, proline, relative water content

## **Влияние обработок биостимулятором листовых удобрений «*Nostoc piscinale*» на содержание пролина кукурузы, на величину относительного содержания влаги (RWC), на количество урожая и на содержанием в нём белка**

<sup>1</sup>А. ИЛЕШ – <sup>1</sup>Ч. БОЙТОР – <sup>2</sup>В. ЁОРДОГ – <sup>1</sup>Я. НАДЬ

<sup>1</sup>Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Питании и Экологического Менеджмента, Институт Землепользования, Технический и Развития Территорий, Дебрецен

<sup>2</sup>Университет им. Сечени Иштвана, Факультет Сельского Хозяйства и Науки о Питании, Кафедра Растениеводства, Мошонмадьоровар

### **Резюме**

Применение биостимулятора удобрений для листьев распространено во всём мире. Питание через листья растения – новая технологическая возможность современного растениеводства, которая оказывает непосредственное влияние на физиологические процессы растения. Опыт установили на опытной территории Факультета Сельского Хозяйства, Науки о Питании и Экологического Менеджмента Дебреценского Университета, с растением тестирования кукурузой (*Zea mays* L.). Использовали содержащий водоросли биостимулятор для обработки листьев в состоянии развития 8 листьев. Наши исследования проводили с двумя концентрациями обработок (0,3 g/l и 1 g/l), которые с количеством воды 400 l/ha, и добавкой увеличи-

вающего прилипаемость препарата алкогольного действующего вещества etoxilált izodecily вносили. В ходе вегетативного периода 7 раз измеряли относительное содержание влаги растения (RWC). Исследовали содержание пролина (prolin) в растениях, содержание в урожае зерна азота и белка. На основании результатов исследований установили, что обработка водорослями увеличила больше, чем на 6%-ов содержание белка зерна. В ходе вегетационного периода содержание пролина зелёными частями растения постоянно уменьшалось, в тоже время в ходе вегетационного периода содержание пролина обрабатываемых растений было выше по сравнению с контролем. На этапе начального роста обработка концентрацией 0,3 g/l привела к большему содержанию пролина, чем обработка более высоким концентратом. Под влиянием обработки листьев концентрацией 0,3 g/l на 10%-ов выросло количество урожая, а под влиянием обработки концентратом 1 g/l на 11%-ов увеличился урожай.

В целом обработка биостимулятором удобрений для листьев «*Nostoc piscinale*» оказала благоприятное влияние на количество урожая и на содержание им белка. В ходе вегетационного периода обработка водорослями увеличила содержание пролина зелёными частями растений, что оказывает благоприятное влияние на защитную систему кукурузы в отношении стресса засухи.

**Ключевые слова:** удобрение листьев, пролин, относительное содержание влаги

## Bevezetés

A levélen keresztüli táplálás a modern növénytermesztés új technológiai lehetősége, mely közvetlen hatást fejt ki növény fiziológiai folyamataira. A talaj mint puffer a tápelemek felvételében közvetítő szerepet játszik, ezáltal a tápelemek felvehetősége és annak hatékonysága függ a talaj kémiai és fizikai tulajdonságaitól.

A kukoricát több mint 160 országban termesztik, és a második legnagyobb területen termesztett növény világviszonylatban. A világon 1122 millió tonna az összes előállított termésmennyiség (FAO 2019). Az organikus levéltrágyák alkalmazása a kukorica termésmennyiségének környezetbarát, fenntartható növelési lehetősége.

A különböző makro- és mikroalgák a növényi életfolyamatokat segítő organikus biostimuláns vegyületek közismert forrásai (Arioli et al. 2015), amelye-

ket számos különféle, zöldségeket, gyümölcsfákat, virágos növényeket és gabonaféléket érintő kutatásokban vizsgáltak (Stirk et al. 2020). A tengeri moszatok közül a barna, zöld és vörös makroalgák kivonatai a szerves biostimulánsok egyik fontos csoportját alkotják (Battacharyya et al. 2015). Az ezekben a kivonatokban azonosított vegyületek (poliszacharidok, fenolok, zsírsavak, vitamínok, fitohormonok) fontos szerepet játszanak a növények stresszhatásokra adott válaszreakcióiban (Khan et al. 2009). A mezőgazdaságban ezek közül leggyakrabban a barna makroalgákból készült termékeket használják (Craigie 2011). Az alkalmazásuk számos növényi életfolyamatban előnyös hatásokat okoz, többek között a palánták fejlődésében, virágzási és termésképzési jellemzőkben, valamint az abiotikus stressztoleranciában is (Khan et al. 2009, De Pascale et al. 2017, Ertani et al. 2018). Basavaraja et al. (2018) vizsgálatai alapján a makroalga tartalmú biostimulátor levéltrágya alkalmazása növelte a kukorica zöld tömegét és szemtermés mennyiségét. A makroalgákat azonban általában a tengerből nyerik, ami megnehezíti a kinyerhető nyersanyag minőségének egységesítését, ugyanis a kémiai összetételüket nagymértékben befolyásolja a koruk, a környezeti feltételek, a rendelkezésre álló tápanyagok mennyisége és a betakarítás időpontja (Marsham et al. 2007).

A biostimulánsként felhasznált nyersanyag minőségének egységesítése és az előállítási költségek csökkentése céljából a makroalgák helyett ígéretes lehet a különböző mikroalgák használata (Barone et al. 2019). A mikroalgák olyan fotoszintetizáló élő szervezetek, amelyek megélnék mind tengeri, mind édesvízi környezetben (Priyadarshani és Rath 2012), ezen felül szennyvíz felhasználásával is előállíthatók, lehetővé téve a termelési költségek csökkentését (Acien et al. 2016). A mikroalgák növényi biostimulánsként való használatával kapcsolatos több tanulmány kimutatta, hogy képesek befolyásolni a sejtlégzést, a fotoszintézist, a nukleinsavszintézist és a növények ionfelvételét. Ezen kívül képesek javítani a talaj tápanyagkészletének növények számára való hozzáférhetőségét, növelik a talaj víztartó képességét, a növények antioxidáns tartalmát, növekvő sejttanyagcserét és klorofilltartalmat eredményeznek (Crouch és Van Staden 1993, Blunden et al. 1996, Bulgari et al. 2015). Világszerte az alábbi mikroalga-fajokat állítják elő és használják a legnagyobb mennyiségben: *Arthrospira* spp., *Chlorella* spp., *Dunaliella* spp., *Nostoc* spp. és *Aphanizomenon* spp. Ezen fajokból kinyert mikroalga biomassza bizonyítottan tartalmaz makro- és mikroelemeket, NPK-tartalma miatt organikus lassú felszívódási ütemű műtrágyának tekinthető (Coppens et al. 2016). Ezen felül

több tanulmány kimutatta, hogy a mikroalgák tartalmaznak bizonyos növényi növekedést elősegítő anyagokat, például auxinokat, citokinineket, betainekeket, aminosavakat, vitaminokat és poliaminokat (Stirk et al. 2013ab).

A mikroalgák mezőgazdasági kijuttatásának három fő módját alkalmazzák: szuszpendált folyékony talajjavító algakészítményként a megfelelő vívígyanyagok felhasználásával; száraz granulált vagy por formájú talajjavító biomasszaként; illetve az algatenyészetekből kinyert extraktum levélen keresztüli kijuttatása, megfelelő koncentráció és permetlé mennyiség meghatározásával (Renuka et al. 2018). Ez utóbbi bizonyult a leghatékonyabbnak biostimuláns hatás szempontjából, mivel magas relatív páratartalom esetén a levél nyitott sztómain keresztül megnövekszik azok permeabilitása, így nagy mennyiséget tud felvenni a növény (Chiaiese et al. 2018).

A mikroalgák és cianobaktériumok biotrágyaként való alkalmazása nagyobb biomassza felhalmozódást, ezzel összefüggésben pedig nagyobb termés hozamokat is okozhat (Shaaban 2001, Garcia-Gonzalez és Sommerfeld 2016). Póthe et al. (2013) tanulmányában a 0,1% *Nostoc piscinale* biomasszával végzett növényi kezelés pozitívan befolyásolta a napraforgó teszt növény növekedését, fejlődését és ennek következtében a termés hozamot is. Osman et al. (2010) kutatásukban két cianobaktérium (*Nostoc piscinale* és *Oscillatoria augustissima*) biotrágyaként való alkalmazását vizsgálta. Eredményeik alapján kimutatták, hogy a cianobaktériumok használata 50%-os műtrágya csökkenést és a termés tápértékének növekedését eredményezte borsó teszt növényenél.

A termésmenvelő hatás mellett a különböző mikroalgák képesek lehetnek az abiotikus stresszhatásokkal szemben fokozni a növény ellenállóképességét, ezáltal képesek javítani a termésbiztonságot. Abd El Baky et al. (2010) kutatásukban *Spirulina maxima* és a *Chlorella ellipsoidea* mikroalgák vízkivonatát vizsgálták őszi búzában, és megállapították, hogy a kezelés javítja a búza sótoleranciáját és fokozza a növények antioxidáns kapacitását. Az abiotikus stressztoleranciában fontos szerepet játszik a prolin, mint úgynevezett stressz-aminosav. A szabad prolin növényekben történő felhalmozódása ugyanis az abiotikus stressz körülményekhez való alkalmazkodás mértékének egyik mutatója (Claussen et al. 2006). Rajendrakumar et al. (1994) megfigyelték, hogy a prolin több enzimszisztémával is interakcióba léphet a fehérjék struktúrájának és funkcióinak megőrzése érdekében, ezáltal elősegítve az ozmotikus vagy dehidratáltsági stresszkörülmények közötti fehérjedenaturáció elkerülését. A magas koncentrációjú prolin jelenléte jobb védelmet biztosít a biológiailag



kedvezőtlen környezeti tényezők, és a növényekben a vízhiány okozta termodinamikusan zavarok ellen (Hamilton és Heckathorn 2001).

A kutatásunk fő célkitűzése a *Nostoc piscinale* Bornet és Flahault tartalmú levéltrágya által a növényekben előidézett fiziológiai változások, biostimuláns hatások vizsgálata volt. A vizsgált növényi biostimuláns hatások, ezáltal a levélen keresztüli növénytáplálásban való használatának értékelése hozzájárulhat a növényi egészség biztosításához és a magasabb termés hozamok, valamint a jobb termésbiztonság eléréséhez.

### Anyag és módszer

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar campusán található kísérleti területen (47°33'09.0"N 21°36'00.0"E) külűgzott csernozjom talajon végeztük, kukorica (*Zea mays* L. FAO 390) teszt növényvel. A vetés időpontja 2019. 05. 03. volt, azzal egy menetben teflutrin hatóanyagú talajfertőtlenítő szert alkalmaztunk. Tápanyagutánpótlás során 170 kg/ha nitrogén hatóanyagot juttatunk ki. A gyomszabályozást tembotrion hatóanyagú készítménnyel 2 l/ha dózisban végeztük. Algatartalmú biostimulátor levéltrágya kezelést négy ismétlésben randomizáltan 100 négyzetméteres parcellaméretben axiálventillátoros motoros permetezővel nyolclevelű fejlettségi állapotban alkalmaztunk *Hanway* (1966) skála 2-es értékénél. Az alkalmazott izolátum a *Nostoc* genus (100%) tagja. Legvalószínűbb faji besorolása a vizsgált 1331 nukleotid hosszúságú teljes *16S rRNS* gén szakasza alapján *Nostoc piscinale* Bornet és Flahault. Az 1331 nukleotid hosszúságú *16S rRNS* gén szakasz polimorf nukleotidot nem tartalmaz. A készítményt desztillált vízzel elegyítettük, három percig rázattuk, majd VirTis VirSonic 600w ultrahangos készülékbe helyeztük 200 W teljesítménnyel három percre, az így kapott alga vizes szuszpenziót pedig kijuttatásig hűtve tároltuk. A vizsgálatainkat két kezelési koncentrációval (0,3 g/l és 1 g/l) végeztük, amelyeket 400 l/ha vízmennyiséggel, valamint etoxilált izodecil alkohol hatóanyagú tapadásfokozó készítmény hozzáadásával juttattunk ki. Az összehasonlíthatóság érdekében a kontroll parcellákat is kezeltük a megfelelő mennyiségű vízzel és a tapadásfokozó anyaggal. A kezelést 25 °C léghőmérséklet alatt végeztük. A tenyészidőszak során hét alkalommal mértük a növények relatív víztartalmát (RWC) *Cabrera-Bosquet* (2009) módszer segítségével, valamint vizsgáltuk a növények prolin tartalmát (*Teklić et al.* 2010). A szemtermés nitrogén- és fe-

hérjetartalmának meghatározását Dumas módszerrel végeztük (Ebeling 1968). A statisztikai vizsgálatot R 3.2.4. statisztikai környezetben (R Core Team 2016) RStudio (Rstudio Team 2016) grafikus felülettel, "gplots" (Warnes et al. 2015), "car" (Fox és Weisberg 2011) és "agricolae" (de Mendiburu 2016) csomagok felhasználásával végeztük. A grafikonokat Ms Excel 2019 programmal készítettük.

2019-ben a vetést követően optimális környezeti viszonyok voltak a kukorica kezdeti fejlődéséhez. Június hónap átlaghőmérséklete meghaladta a sokéves átlagot, viszont a júliusi, termésképzés szempontjából fontos időszak hőmérséklete a sokéves átlaghoz képest alacsonyabb volt, amelyhez jelentős mértékű csapadék is társult (1. ábra).

1. ábra. A tenyészidőszak csapadék és hőmérsékletviszonyai 2019-ben

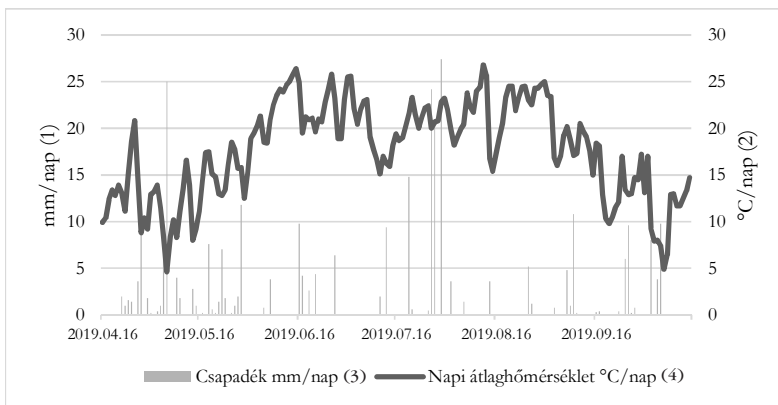
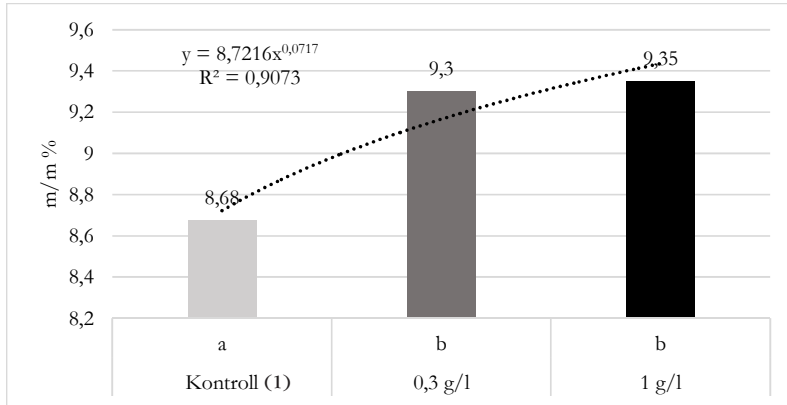


Figure 1. Precipitation and temperature data under growing season in 2019. (1) mm per day, (2) Celsius degree per day, (3) Precipitation (mm per day), (4) Temperature (°C per day)

## Eredmények

A *Nostoc piscinale* hatására növekedett a termés fehérjetartalma. A 0,3 g/l és az 1 g/l koncentrációjú kezelés között nem volt különbség. Vizsgálataink alapján kijelenthetjük, hogy az algakezelés több mint 6%-kal növelte a szemtermés fehérjetartalmát (2. ábra).

A prolin adaptív szerepet játszik az ozmotikus alkalmazkodás kialakításában és a szubcelluláris szerkezet védelmében a stresszkörülmények között (Ashraf és Foolad 2007, Sobahan et al. 2016).

2. ábra. *Nostoc piscinale* levéltrágya kezelés hatása a szemtermés fehérjetartalmára

Megjegyzés:  $n=4$ ,  $SzD_{5\%}=0,53$

Figure 2. Effect of *Nostoc piscinale* foliar fertilization on the protein content of the grain. (1) Control, Note:  $n=4$ ,  $LSD_{5\%}=0.53$

A tenyésztidőszak során a zöld növényi rész prolin tartalma folyamatosan csökkent, viszont a kezelt növények prolin tartalma magasabb volt a kontrollhoz képest. A kezdeti növekedési szakaszban a 0,3 g/l koncentrációjú kezelés nagyobb prolin tartalmat eredményezett, mint a magas koncentrációjú kezelés (3. ábra).

A kezelés hatására a prolintartalom hasonlóan alakult a harmadik levélen, mint a második levélen. A kezelt növények prolintartalma a tenyésztidőszak során magasabb volt, viszont a tenyésztidőszak végén *Hanway* (1966) skála 6. értékétől kezdődően a tenyésztidőszak végéig, nem volt hatása a kezelésnek a növények prolintartalmára (4. ábra).

A lombtrágyakezelés hatására növekedett a termésmennyiség, a 0,3 g/l kezelés hatására 10%-kal, az 1 g/l koncentrációjú kezelés hatására 11%-kal (5. ábra). Az alacsony és a magas koncentráció között statisztikailag igazolható különbség nem volt.

A tenyésztidőszak során a kezelés hatására változott a növények relatív víztartalma. A kezelt növények RWC értéke a tenyésztidőszak során a kezdeti szakaszban kontrollhoz viszonyítva magasabb volt, majd a tenyésztidőszak végén *Hanway* (1966) skála 7. értéke után betakarításig folyamatosan csökkent (6. ábra). *Hanway* 6. értékénél a kezelt és a kontroll növények RWC értéke megegyezett.

3. ábra. *Nostoc piscinale* levéltrágya kezelés hatása a kukorica felülről második levelének prolin tartalmára

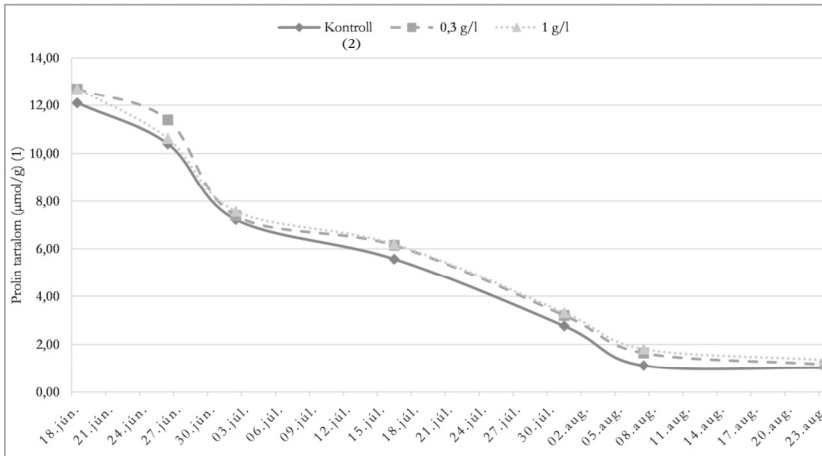


Figure 3. Effect of *Nostoc piscinale* foliar fertilization on the proline content of the 2nd leaves from the top. (1) Proline content ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ), (2) Control

4. ábra. *Nostoc piscinale* levéltrágya kezelés hatása a kukorica felülről harmadik levelének prolin tartalmára

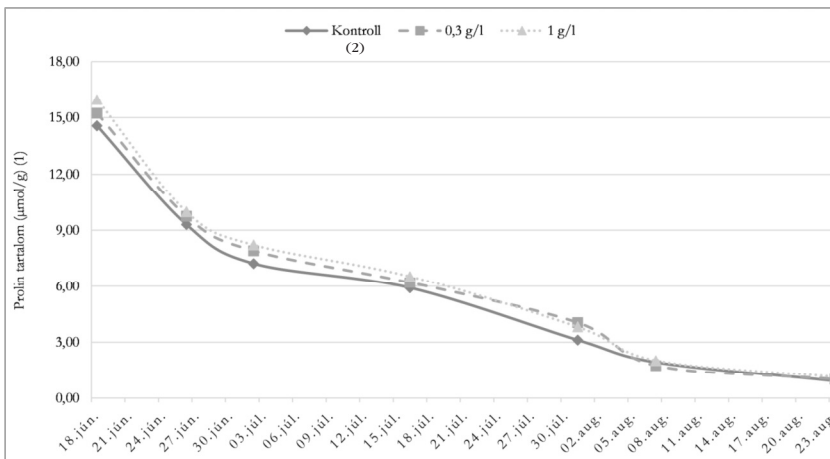
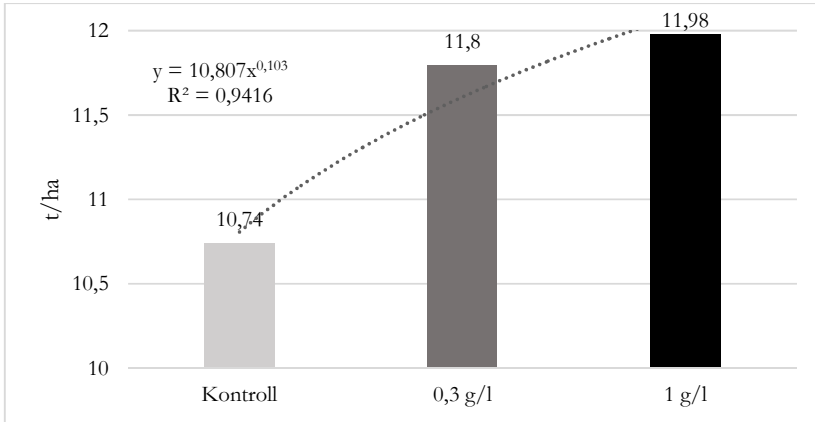


Figure 4. Effect of *Nostoc piscinale* foliar fertilization on the proline content of the 3rd leaves from the top. (1) Proline content ( $\mu\text{mol g}^{-1}$ ), (2) Control



5. ábra. *Nostoc piscinale* levéltrágya kezelés hatása a kukorica termésmennyiségére



Megjegyzés: n=4, SzD<sub>5%</sub>=0,904

Figure 5. Effect of *Nostoc piscinale* foliar fertilization on the yield. (1) Control, Note: n=4, LSD<sub>5%</sub>=0.904

6. ábra. *Nostoc piscinale* levéltrágya kezelés hatása a relatív víztartalomra (RWC) felülről a második levélen

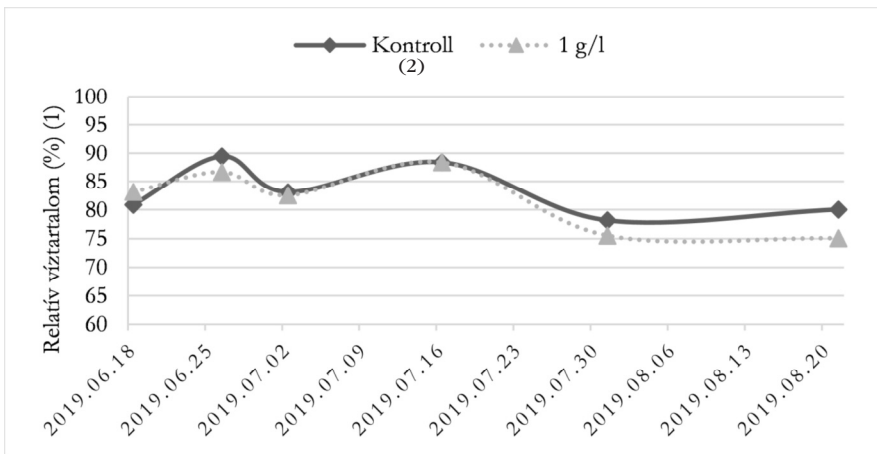


Figure 6. Effect of *Nostoc piscinale* foliar fertilization on the relative water content (RWC) of the 2nd leaves from the top. (1) Relative water content (%), (2) Control

## Következtetések

Összességében a *Nostoc piscinale* biostimulátor levéltrágya kezelés kedvező hatást gyakorolt a termés mennyiségére és annak fehérjetartalmára. *El-Montem* és *Abd-Allah* (2008) vizsgálatai alapján az alga extraktummal történő lombtrágyázás hatására nőtt a zöld növényi rész nitrogéntartalma, míg *Basaravaja et al.* (2018) vizsgálatai alapján a különböző algakezelések hatására a kukorica termése és vegetatív részének tömege 16,01%–26,04%-kal nőtt koncentrációtól függően. A növény felületére permetezett algasejtek a sztómákon és a hidatódákon keresztül juthatnak a levelekbe, és közvetett diffúzió útján képesek citoplazmatikus rostokon keresztül tápanyagokat és növényi hormonokat átjuttatni a növényi sejtekbe (*Molnár és Ördög* 2005). A növények szabad prolintartalma fontos a stresszhatások elleni védekezés szempontjából. *AlAbdallah et al.* (2017) vizsgálataik során megfigyelték, hogy eltérő sókoncentráció mellett nevelt növényeknél barna és zöld alga kezelés hatására növekedett a zöld növényi rész prolintartalma. A kutatásunkban hasonló eredményeket tapasztaltunk, a kezelés a tenyészidőszak során növelte a zöld növényi rész prolintartalmát, ezáltal kedvező hatást gyakorolt a kukorica szárazságstresszel szembeni védekező rendszerére. *Takács et al.* (2017) napraforgóban végzett kísérletében a *Nostoc piscinale* kezelés jelentősen megnövelte a levelek relatív víztartalmát (74,76–89,16%) a kontrollhoz képest (66,98–87,18%). A kutatásunkban ehhez képest a relatív víztartalom értéke a kezelés hatására a kezdeti növekedési szakaszban növekedett, majd a tenyészidőszak végén a kontrollhoz viszonyítva csökkent.

Kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a *Nostoc piscinale* izolátummal történő levélen keresztüli kezelés stresszviszonyok esetén jó eszköz lehet a növényi produktumok növelésére. A különböző növényi paraméterek változását okozó hatások, komplex növényélettani folyamatok megértéséhez, valamint az évjárat okozta hatások minimalizálása érdekében további, többéves vizsgálatok szükségesek.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program NKFIH-1150-6/2019 számon támogatta, a Debreceni Egyetem 4. tématerületi

programja keretében. A kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-19-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

### Irodalom

- Abd El-Baky, H. H.–El-Baz, F. K.–El Baroty, G. S.*: 2010. Enhancing antioxidant availability in wheat grains from plants grown under seawater stress in response to microalgae extract treatments. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 90. 2: 299–303.
- Acién, F. G.–Gómez-Serrano, C.–Morales-Amaral, M. D. M.–Fernández-Sevilla, J. M.–Molina-Grima, E.*: 2016. Wastewater treatment using microalgae: how realistic a contribution might it be to significant urban wastewater treatment? *Applied Microbiology and Biotechnology*. 100. 21: 9013–9022.
- AlAbdallah, N. M.–Basalah, M. O.–Roushdy, S. S.*: 2017. The promotive effect of algal biofertilizers on growth and some metabolic activities of *Vigna unguiculata* L. under salt stress conditions. *The Egyptian Journal Of Experimental Biology (Botany)*. 13. 2: 187–195.
- Arioli, T.–Mattner, S. W.–Winberg, P. C.*: 2015. Applications of seaweed extracts in Australian agriculture: past, present and future. *Journal of Applied Phycology*. 27. 5: 2007–2015.
- Ashraf, M. F. M. R.–Foolad, M.*: 2007. Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance. *Environmental and Experimental Botany*. 59. 2: 206–216.
- Barone, V.–Puglisi, I.–Fragalà, F.–Piero, A. R. L.–Giuffrida, F.–Baglieri, A.*: 2019. Novel bioprocess for the cultivation of microalgae in hydroponic growing system of tomato plants. *Journal of Applied Phycology*. 31. 1: 465–470.
- Basavaraja, P. K.–Yogendra, N. D.–Zodape, S. T.–Prakash, R.–Ghosh, A.*: 2018. Effect of seaweed sap as foliar spray on growth and yield of hybrid maize. *Journal of Plant Nutrition*. 41. 14: 1851–1861.
- Battacharyya, D.–Babgohari, M. Z.–Rathor, P.–Prithviraj, B.*: 2015. Seaweed extracts as biostimulants in horticulture. *Scientia Horticulturae*. 196: 39–48.
- Blunden, G.–Jenkins, T.–Liu, Y. W.*: 1996. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology*. 8. 6: 535–543.
- Bulgari, R.–Cocetta, G.–Trivellini, A.–Vernieri, P.–Ferrante, A.*: 2015. Biostimulants and crop responses: a review. *Biological Agriculture Horticulture*. 31. 1: 1–17.
- Cabrera-Bosquet, L.–Molero, G.–Nogue's, S.–Araus, J. L.*: 2009. Water and nitrogen conditions affect the relationships of  $\Delta^{13}C$  and  $\Delta^{18}O$  to gas exchange and growth in durum wheat. *Journal of Experimental Botany*. 60: 1633–1644.

- Chiaiese, P.–Corrado, G.–Colla, G.–Kyriacou, M. C.–Rouphael, Y.*: 2018. Renewable sources of plant biostimulation: microalgae as a sustainable means to improve crop performance. *Frontiers in Plant Science*. 9.
- Claussen, W.–Brückner, B.–Krumbein, A.–Lenz, F.*: 2006. Long-term response of tomato plants to changing nutrient concentration in the root environment – the role of proline as an indicator of sensory fruit quality. *Plant Science*. 171. 3: 323–331.
- Coppens, J.–Grunert, O.–Van Den Hende, S.–Vanhoutte, I.–Boon, N.–Haesaert, G.–De Gelder, L.*: 2016. The use of microalgae as a high-value organic slow-release fertilizer results in tomatoes with increased carotenoid and sugar levels. *Journal of applied phycology*. 28. 4: 2367–2377.
- Craigie, J. S.*: 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology*. 23. 3: 371–393.
- Crouch, I. J.–Van Staden, J.*: 1993. Evidence for the presence of plant growth regulators in commercial seaweed products. *Plant growth regulation*. 13. 1: 21–29.
- de Mendiburu, F.*: 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- De Pascale, S.–Rouphael, Y.–Colla, G.*: 2017. Plant biostimulants: innovative tool for enhancing plant nutrition in organic farming. *Eur. J. Hortic. Sci.* 82: 277–285.
- Ebeling, M. E.*: 1968. The Dumas method for nitrogen in feeds. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*. 51: 766–770.
- El-Moniem, E. A.–Abd-Allah, A. S. E.*: 2008. Effect of green algae cells extract as foliar spray on vegetative growth, yield and berries quality of superior grapevines. *J. Amer. Eur. Agric. and Environ. Sci.* 4. 4: 427–433.
- Ertani, A.–Francioso, O.–Tinti, A.–Schiavon, M.–Pizzeghello, D.–Nardi, S.*: 2018. Evaluation of seaweed extracts from *Laminaria* and *Ascophyllum nodosum* spp. as biostimulants in *Zea mays* L. using a combination of chemical, biochemical and morphological approaches. *Frontiers in Plant Science*. 9: 428.
- FAO*: 2019. *World Food and Agriculture – Statistical pocketbook 2019*. Rome.
- Fox, J.–Weisberg, S.*: 2011. *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Garcia-Gonzalez, J.–Sommerfeld, M.*: 2016. Biofertilizer and biostimulant properties of the microalga *Acutodesmus dimorphus*. *Journal of Applied Phycology*. 28. 2: 1051–1061.
- Hamilton, E. W.–Heckathorn, S. A.*: 2001. Mitochondrial adaptations to NaCl. Complex I is protected by anti-oxidants and small heat shock proteins, whereas complex II is protected by proline and betaine. *Plant Physiology*. 126. 3: 1266–1274.
- Hanway, J. J.*: 1966: How a corn plant develops. *Special Report*. 38.
- Khan, W.–Rayirath, U. P.–Subramanian, S.–Jithesh, M. N.–Rayorath, P.–Hodges, D. M.–Critchley, A. T.–Craigie, J. S.–Norrie, J.–Prithiviraj, B.*: 2009. Seaweed extracts as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation*. 28. 4: 386–399.



- Marsham, S.–Scott, G. W.–Tobin, M. L.: 2007. Comparison of nutritive chemistry of a range of temperate seaweeds. *Food Chemistry*. 100. 4: 1331–1336.
- Molnár, Z.–Ördög, V.: 2005. The effect of cyanobacterial compounds on the organogenesis of pea cultured in vitro. *Acta Biologica Szegediensis*. 49. 1–2: 37–38.
- Osman, M. E. H.–El-Sheekh, M. M.–El-Naggar, A. H.–Gheda, S. F.: 2010. Effect of two species of cyanobacteria as biofertilizers on some metabolic activities, growth, and yield of pea plant. *Biology and Fertility of Soils*. 46. 8: 861–875.
- Pöthe, P.–Gergely, I.–Ördög, V.: 2013. Effect of Microalgal Biomass from MACC-612 *Nostoc enthophytum* and MACC-430 *Tetracystis* sp. on Sunflower Production. *Science for Sustainability*. 183.
- Priyadarshani, I.–Rath, B.: 2012. Commercial and industrial applications of microalgae – A review. *J Algal Biomass Utln*. 3. 4: 89–100.
- Rajendrakumar, C. S.–Reddy, B. V.–Reddy, A. R.: 1994. Proline-protein interactions: protection of structural and functional integrity of M4 lactate dehydrogenase. *Biochemical and Biophysical Research Communications*. 201. 2: 957–963.
- Renuka, N.–Guldhe, A.–Prasanna, R.–Singh, P.–Bux, F.: 2018. Microalgae as multi-functional options in modern agriculture: current trends, prospects and challenges. *Biotechnology Advances*. 36. 4: 1255–1273.
- RStudio Team: 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio Inc. Boston. MA. <http://www.rstudio.com/>
- Shaaban, M. M.: 2001. Green microalgae water extract as foliar feeding to wheat plants. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 4. 6: 628–632.
- Sobahan, M. A.–Akter, N.–Murata, Y.–Munemasa, S.: 2016. Exogenous proline and glycinebetaine mitigate the detrimental effect of salt stress on rice plants. *Science, Engineering and Health Studies (Former Name Silpakorn University Science And Technology Journal)*. 10. 3: 38–43.
- Stirk, W. A.–Ördög, V.–Novák, O.–Rolčík, J.–Strnad, M.–Bálint, P.–van Staden, J.: 2013b. Auxin and cytokinin relationships in 24 microalgal strains. *Journal of Phycology*. 49. 3: 459–467.
- Stirk, W. A.–Bálint, P.–Tarkowská, D.–Novák, O.–Strnad, M.–Ördög, V.–Van Staden, J.: 2013a. Hormone profiles in microalgae: gibberellins and brassinosteroids. *Plant Physiology and Biochemistry*. 70: 348–353.
- Stirk, W. A.–Rengasamy, K. R.–Kulkarni, M. G.–van Staden, J.: 2020. Plant Biostimulants from Seaweed: An Overview. *The Chemical Biology of Plant Biostimulants*.
- Takács, G.–Gergely, I.–Ördög, V.: 2017. Effect of microalgae leaf treatments on winter wheat variety water balance. *Studia Biologica*. 11: 3–4.
- Teklić, T.–Špoljarević, M.–Stanišavljević, A.–Lisjak, M.–Vinković, T.–Paradičković, N.–Andrić, L.–Hancock, J. T.: 2010. Assessment of the influence of different sample processing and cold storage duration on plant free proline content analyses. *Phytochemical Analysis*. 21. 6: 561–565.

---

*Warnes, G. R.–Bolker, B.–Bonebakker, L.–Gentleman, R.–Liaw, W. H. A.–Lumley, T.–Maechler, M.–Magnusson, A.–Moeller, S.–Schwartz, M.–Venables, B.:* 2015. Gplots: Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0 <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Illés Árpád – Bojtor Csaba – Dr. Nagy János  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4302  
\*illes.arpad@agr.unideb.hu

Dr. Ördög Vince  
Széchenyi István Egyetem MÉK  
Növénytudományi Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Lucsony utca 15-17.  
H-9200

## A 2018–2019. évi időjárás elemzése szántóföldi tartamkísérletekben (Debrecen–Látókép)

<sup>1</sup>NAGY JÁNOS - <sup>2</sup>NYÉKI ANIKÓ - <sup>1</sup>GOMBOS BÉLA

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>Széchenyi István Egyetem MÉK,

Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

### Összefoglalás

A 2017/2018-as tél első két hónapja az átlagosnál lényegesen enyhébb időjárást hozott. A február vége és március eleje közötti mintegy 10 napos hideg periódusban beköszönött az igazi téli időjárás. A tenyészidőszakot megelőző téli félév rendkívül csapadékos volt, a lehullott csapadék közel 130 mm-rel meghaladta a sokévi átlagot. Májusban folytatódott a napos, meleg időjárás. Az év különlegessége, hogy két szélsőségesen meleg hónap követte egymást. Rendkívül gyors volt a kukorica kelése és kezdeti fenológiai fejlődése. A havi csapadék az átlagos közelében alakult, melynek nagy része a hónap közepső dekádjában hullott. A júliust szélsőségektől mentes, kiegyenlített, átlag közeli hőmérsékletű időjárás jellemezte. A csapadék is viszonylag kiegyenlítetten hullott az időszak folyamán. A virágzás, terméskötés ideje a szokásosnál mintegy két héttel korábban volt. A július végén kezdődő igen meleg periódus egészen augusztus végéig tartott és jelentős csapadék csak augusztus végén hullott.

A 2019-es tenyészidőszakot megelőző téli félévben kevés csapadék hullott, csupán 127 mm, ami az átlagosnál 87 mm-rel kevesebb. A talajok mélyebb rétegeinek feltöltődése nem volt megfelelő. A májust egyértelműen felhős, csapadékos, hűvös időjárás jellemezte. Egyenletes eloszlásban az átlagot meghaladó (76 mm) csapadék hullott. Június az átlagosnál szárazabban alakult, a szokásos csapadékmennyiség mintegy fele hullott (32 mm). A 22,8 °C-os havi középhőmérséklet kifejezetten magasnak számít. Különösen a hónap közepső dekádja volt meleg. A július elején folytatódó száraz időszak

már kevésbé volt meleg. Az utóbbi 10 évben egyszer sem volt ilyen alacsony a júliusi középhőmérséklet (21,1 °C). A hónap második felében és a legvégén lehulló nagy mennyiségű eső következtében a havi csapadékösszeg jelentősen meghaladta a sokévi átlagot, a 99 mm-es érték 33 mm-es pozitív anomáliát jelent. Az augusztust száraz, meleg időjárás jellemezte. Igen kevés csapadék hullott. A hónap végét jelentős pozitív anomália jellemezte, ami felgyorsította az érési folyamatot.

**Kulcsszavak:** csapadék, hőmérséklet, 2018–2019 évek, tartamkísérletek

## **Evaluation of weather of 2018–2019 in long-term field experiments (Debrecen–Látókép)**

<sup>1</sup>J. NAGY - <sup>2</sup>A. NYÉKI - <sup>1</sup>B. GOMBOS

<sup>1</sup>University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute for Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

<sup>2</sup>Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences, Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

### **Summary**

The first two months of winter 2017/2018 have brought about milder than average weather. In the 10-day-long cold period between the end of February and the beginning of March, the real winter weather arrived. The winter semester preceding the growing season was extremely rainy, with precipitation nearly 130 mm above the annual average. The sunny, warm weather continued in May. The specialty of the year was that two extremely hot months followed each other. The emergence and initial phenological development of maize was extremely rapid. Monthly precipitation was close to the mean, with most falling during the middle decade of the month. July was characterised by moderate, temperate weather, free of extremes. Precipitation also fell relatively evenly over the period. The time of flowering and seed setting was about two weeks earlier than usual. The very warm period beginning at the end of July lasted until the end of August and significant rainfall did not fall until the end of August.

In the winter semester preceding the 2019 growing season, there was little rainfall – only 127 mm, which was 87 mm lower than the average. Deep layers of soils were not sufficiently saturated. May was clearly marked by cloudy, rainy, cool weather. More than average (76 mm) of precipitation fell with an even distribution. June was drier than average, with about half of the normal rainfall (32 mm). The monthly average temperature of 22.8 °C is considered extremely high. The middle decade of the month was particularly warm. The dry period, which continued at the beginning of July, was less warm. The average temperature in July (21.1 °C) has never been so low in the last 10 years. Due to heavy rainfall in the second half of the month and at the very end of the month, monthly precipitation was significantly above the annual average, with a value of 99 mm representing a positive anomaly of 33 mm. August was characterised by dry, warm weather and very little rain. The end of the month was marked by a significant positive anomaly which accelerated the maturation process.

**Key words:** precipitation, temperature, years of 2018–2019, long-term experiments

## **Анализ погоды 2018–2019 годов в пахотном продолжительном опыте, Debrecen-Látókép**

<sup>1</sup>Я. НАДЬ – <sup>2</sup>А. НЬЕКИ – <sup>1</sup>Б. ГОМБОШ

<sup>1</sup>Дебреценский Университет МЁК,

Институт Землепользования, Технический и Разввия Территорий, Дебрецен

<sup>2</sup>Университет им.Сечени Иштвана МЁК,

Кафедра Биологических Систем и Техники Пищевой Промышленности,

Мошонмадьяровар

### **Резюме**

Первые два месяца зимы 2017/2018-го года были существенно теплее средних. В холодный 10-и дневный период с конца февраля до первых чисел марта была по настоящему зимняя погода. Предшествующее вегетационному периоду зимнее полугодие было чрезвычайно влажно, выпавшие осадки примерно на 130 mm превысили многолетний средний показатель. В мае продолжилась солнечная, тёплая погода. Особенность этого года, что два крайне тёплых месяца следовали один за другим.

Чрезвычайно быстро произошли всходы кукурузы и начальное фенологическое развитие. Месячные осадки формировались на уровне близко к средним, большая часть которых выпала в средней декаде месяца. Для июля была характерна равномерная, без крайностей, близкая к средней температуре погода. Осадки также относительно равномерно выпадали в течении этого периода. Время цветения, завязывания плодов было на 2 недели раньше обычного. Начавшийся в конце июля очень жаркий период продержался до конца августа и значительные осадки выпали только в конце августа.

В предшествующее вегетационному периоду 2019-го года зимнее полугодие выпало мало осадков, только 127 mm, что меньше среднего на 87 mm. Для наполнения более глубоких слоёв почвы это было недостаточно. Для мая была однозначно характерна облачная, дождливая, прохладная погода. В равномерном распределении выпало превышающее среднее (76 mm) количество осадков. Июнь был суше среднего, выпала только половина среднего количества осадков (32 mm). Его 22,8 °C месячная средняя температура считается высокой. Особенно средняя декада месяца была тёплой. Продолжавшаяся в начале июля сухая погода была менее тёплой. За последние 10 лет ни разу не было такой низкой среднемесячной июльской температуры (21,1 °C). Вследствии выпавшего во второй половине месяца и в самом конце большого количества осадков месячное количество осадков значительно превысило многолетний средний уровень, величина 99 mm означала 33 mm-ую позитивную аномалию. Для августа была характерна сухая, тёплая погода. Выпало очень мало осадков. Для конца месяца была характерна значительная позитивная аномалия, что ускорило процесс созревания.

**Ключевые слова:** осадки, температура, 2018–2019 годы, продолжительные опыты

## Bevezetés

Magyarországon a termés mennyiségét leginkább meghatározó meteorológiai tényező a csapadék, a kukoricatermelés legnagyobb problémája a vízhiány. Egyes években a tenyészdőszakokban a növény vízigénye jelentősen meghaladja a lehullott csapadékot, a fő termőterületeken 100–150 mm-rel, helyenként 150–200 mm-rel, csupán a Dunántúl délnyugati részén kisebb mértékű a vízhiány (40–80 mm) (Nagy 2007). Nagy (2012) debreceni tartamkísérlet adatai alapján erős pozitív korrelációt mutatott ki a vegetációs időszak csapa-

dékösszege és a termésátlag között. *Márton* (2004) vizsgálatai szerint az összefüggés legpontosabban másodfokú függvénnyel írható le. Trágyakezeléstől függően 328–349 mm közötti csapadékértékhez tartozott a legnagyobb termés.

Az időjárás termésre gyakorolt hatása kölcsönhatásban van az termesztéstechnológiai elemekkel, egyébeken mellett függ a talajművelés módjától, az előveteménytől, a tápanyag-ellátottság szintjétől, a termesztett hibridtől (*Ványiné et al.* 2012, *Széles et al.* 2018).

A kutatásunk során azt vizsgáltuk, hogy mely időjárási tényezők hatása igazolható a kukorica termésátlagának alakulásában. Elemeztük az egyes tenyészidőszakok időjárását – elsősorban hőmérsékleti- és csapadékviszonyait –, figyelembe véve a kukorica fenológiai állapotától függő eltérő igényeit.

### **Anyag és módszer**

A kutatáshoz szükséges éves kukorica termésátlag adatok a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén 1983-ban alapított szántóföldi tartamkísérletéből származnak. A tartamkísérlet azon adatai kerültek feldolgozásra, amelyek az időjárás hatásának jellemzésére alkalmasak. Minden évben azonos genotípusú kukorica hibridet vetettünk és vizsgáltuk a tartamkísérlet eredményeit.

Az éves hőmérséklet és csapadék átlagok elfedik a kukorica szempontjából lényeges meteorológiai körülményeket. A tenyészidőszakban elsődlegesen dekád bontásban értékeltük a hőmérsékleti és csapadékviszonyokat. A hőmérséklet esetében az anomália, a csapadék esetében a tényleges értékek elemzése bizonyult célravezetőbbnek, így ezeket alkalmaztuk. A vizsgálat során külön hangsúlyt fektettünk a termés szempontjából kritikus időszakra, amely a virágzást megelőzően kezdődik és az érés középső szakaszáig tart.

### **Eredmények és értékelés**

#### *A 2018-as év tenyészidőszakának időjárási jellemzői*

A 2017/2018-as tél első két hónapja az átlagosnál lényegesen enyhébb időjárást hozott (3–3,5 °C-kal az átlag felett), február végéig csupán egyetlen napon volt -5 °C-nál erősebb fagy. A február vége és március eleje közötti mintegy 10 napos hideg periódusban beköszöntött az igazi téli időjárás, több alkalommal is előfordult -10 °C alatti hőmérsékletet. Egy átmeneti enyhébb periódus után



március 20. környékén ismét visszatért a tél, erős fagyokkal ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A tenyészidőszakot megelőző téli félév rendkívül csapadékos volt, a lehullott 341 mm csapadék közel 130 mm-rel meghaladta a sokévi átlagot. A talajok a teljes szelvényükben vízzel telített állapotban voltak, mivel még a március is lényeges csapadéktöbblettel zárt (1. táblázat).

1. táblázat. A hőmérséklet és a csapadék havi és féléves jellemzői (Debrecen–Látókép, 2018)

Időszak (1)	Középhőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ) (2)	Csapadék (mm) (3)
Téli félév (X-III.) (4)	4,1 (-0,1)	341 (+127)
Nyári félév (IV-IX.) (5)	19,7 (+2,2)	318 (-28)
Április (6)	16,0 (+4,8)	37 (-16)
Május (7)	19,7 (+3,1)	57 (-7)
Június (8)	20,2 (+0,9)	64 (-2)
Július (9)	21,7 (+0,4)	55 (-11)
Augusztus (10)	23,2 (+2,4)	92 (+43)
Szeptember (11)	17,1 (+1,1)	14 (-34)
Október (12)	12,3 (+1,7)	9 (-29)

Table 1. Monthly and half-year temperature and precipitation data (Debrecen–Látókép, 2018). (1) Period, (2) Mean temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ), (3) Precipitation (mm), (4) Winter period (months X-III), (5) Summer period (IV-IX), (6) April, (7) May, (8) June, (9) July, (10) August, (11) September (12) October

Április elejétől alapvetően és tartósan megváltozott az időjárás jellege, ami jól tükröződik a havi adatokban is. A mérések kezdete óta nem volt ilyen meleg az április, a  $16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os középhőmérséklet közel  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -kal haladta meg az átlagot. A sok napsütés mellett az átlagosnál kevesebb csapadék hullott. Az időjárás kedvezett a talajelőkészítésnek, a vetésnek.

Májusban folytatódott a napos, meleg időjárás, ismét rekord magas középhőmérsékletet eredményezve ( $19,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Az év különlegessége, hogy két szélsőségesen meleg hónap követte egymást. A dekád középhőmérsékleteket vizsgálva megállapítható, hogy az április 2. dekádjától május 1. dekádjáig tartó időszak volt különösen meleg az évszakhoz képest (1. ábra), de egészen június közepéig jelentős volt a hőmérsékleti többlet. Rendkívül gyors volt a kukorica kelése és kezdeti fenológiai fejlődése. A havi csapadék az átlagos közelében alakult, melynek nagy része a hónap középső dekádjában hullott.

1. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2018 tenyészidőszakában Debrecen–Látóképen

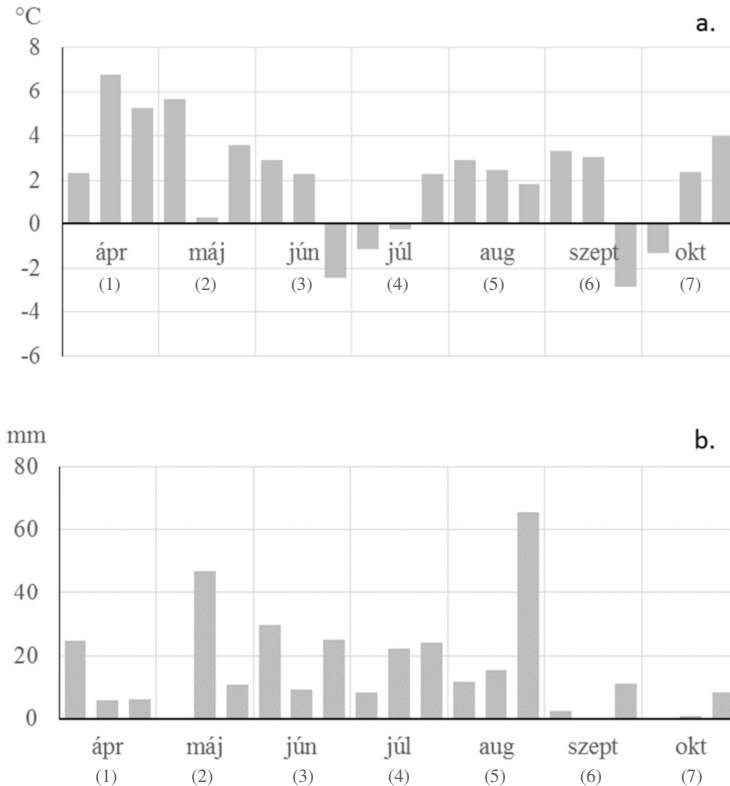


Figure 1. Difference between the mean temperatures of the decade from the multiple-year-average (a); precipitation sums (b) in the 2018 growing season in Debrecen-Látókép. (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September (7) October

A június 0,9 °C-os, a július már csupán 0,4 °C-os pozitív hőmérsékleti anomáliát mutatott. A júliust szélsőségektől mentes, kiegyenlített, átlag közeli hőmérsékletű időjárás jellemezte. A csapadék is viszonylag kiegyenlítetten hullott az időszak folyamán, de mennyisége kissé elmaradt a sokévi átlagtól. A virágzás, terméskötés ideje a szokásosnál mintegy két héttel korábban volt. Ebben az időszakban sem kedvezőtlenül magas hőmérséklet, sem jelentős vízhiány nem volt tapasztalható.

A július végén kezdődő igen meleg periódus egészen augusztus végéig tartott és jelentős csapadék csak augusztus végén hullott. Ez az időszak időjá-

rási szempontból kedvezőtlen volt a kukorica termése (szemek telítődése) szempontjából.

Szeptember első két dekádjában is az átlagnál jellemzően 2-3 °C-kal magasabban alakult a középhőmérséklet, majd átmeneti hűvösebb időszak után visszatért a meleg őszi idő. Mindkét hónap kifejezetten száraz volt. Az érés, vízleadás, betakarítás időjárási feltételei kedvezően alakultak.

#### *A 2019-es év tenyészidőszakának időjárási jellemzői*

A 2019-es tenyészidőszakot megelőző téli félévben kevés csapadék hullott, csupán 127 mm, ami az átlagosnál 87 mm-rel kevesebb. A talajok mélyebb rétegeinek feltöltődése – legalábbis nagy vízigényű növényeket követően – nem volt megfelelő. Februárban és márciusban összesen csupán 20 mm csapadék esett, mindez az átlagot lényegesen meghaladó hőmérséklet mellett. A szárazság kedvezett a magágy előkészítési munkáknak (2. táblázat).

2. táblázat. *A hőmérséklet és a csapadék havi és féléves jellemzői (Debrecen–Látókép, 2018)*

Időszak (1)	Középhőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)
Téli félév (X-III.) (4)	4,4 (+0,2)	127 (-87)
Nyári félév (IV-IX.) (5)	18,4 (+0,9)	290 (-56)
Április (6)	12,4 (+1,2)	33 (-20)
Május (7)	14,1 (-2,5)	76 (+12)
Június (8)	22,8 (+3,5)	32 (-34)
Július (9)	21,1 (-0,2)	99 (+33)
Augusztus (10)	23,1 (+2,3)	15 (-34)
Szeptember (11)	17,1 (+1,1)	35 (-13)
Október (12)	12,6 (+2,0)	22 (-16)

*Table 2.* Monthly and half-year temperature and precipitation data (Debrecen–Látókép, 2019). (1) Period, (2) Mean temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Winter period (months X-III), (5) Summer period (IV-IX), (6) April, (7) May, (8) June, (9) July, (10) August, (11) September (12) October

Áprilisban is folytatódott a kifejezetten száraz idő, a vetést nem akadályozta az időjárás. Csupán a hónap utolsó dekádjában érkezett jelentősebb csapadék, melyre már szükség is volt a megfelelő kelés érdekében. Összességében ez a hónap is az átlagosnál enyhébb és szárazabb volt.

A májust egyértelműen felhős, csapadékos, hűvös időjárás jellemezte. Egyenletes eloszlásban az átlagot meghaladó (76 mm) csapadék hullott. A szokatlanul hűvös időben (2,5 °C-os negatív anomália havi szinten) a kukorica lassan fejlődött, viszont a vízellátottság optimális volt.

Június az átlagosnál szárazabb alakult, a szokásos csapadékmennyiség mintegy fele hullott le (32 mm). A 22,8 °C-os havi középhőmérséklet kifejezetten magasnak számít. Különösen a hónap középső dekádja volt meleg (2. ábra), amikor a pozitív anomália elérte az 5 °C-ot.

2. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2019 tenyészidőszakában Debrecen–Látóképen

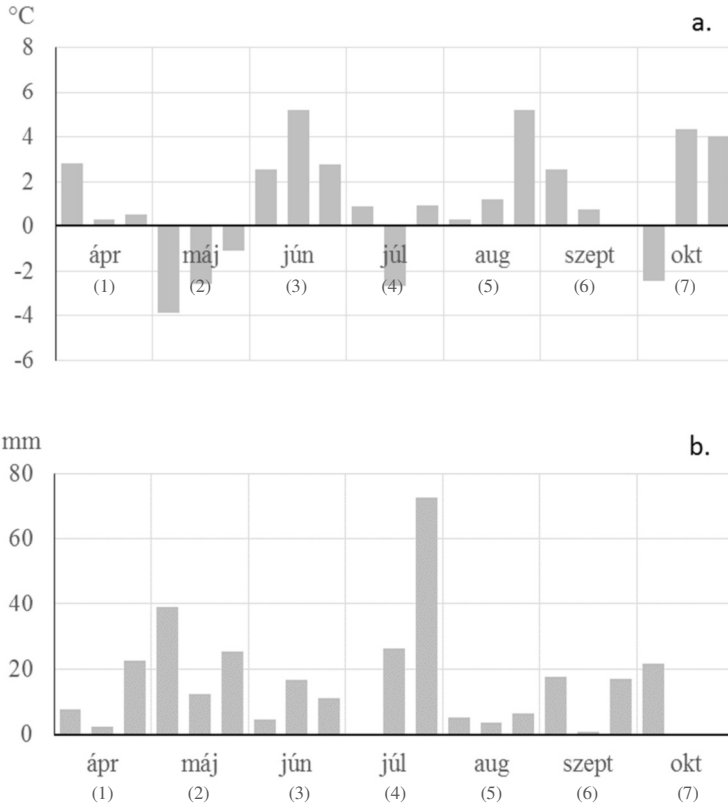


Figure 2. Difference between the mean temperatures of the decade from the multiple-year-average (a); precipitation sums (b) in the 2019 growing season in Debrecen-Látókép. (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September (7) October

A kukorica ebben a hónapban szerencsére jellemzően kevésbé érzékeny a szárazságra és a túlságosan magas hőmérsékletre, mint ezt megelőzően, illetve később a virágzás-terméskötés időszakában.

A július elején folytatódó száraz időszak már kevésbé volt meleg, a hónap közepét pedig már meglehetősen hűvös időjárás jellemezte (a szokásoshoz képest), mérsékelve az addigra már jelentősen lecsökkent talajnedvesség kedvezőtlen voltát. Az utóbbi 10 évben egyszer sem volt ilyen alacsony a júliusi középhőmérséklet (21,1 °C). A hónap második felében és a legvégén lehulló nagy mennyiségű eső következtében a havi csapadékösszeg jelentősen meghaladta a sokévi átlagot, a 99 mm-es érték 33 mm-es pozitív anomáliát jelent. A vízellátottság ismét igen kedvezővé vált, bár ez a csapadék már kissé késve érkezett, különösen a fenológiai fejlődésükben előrehaladott állapotban lévő állományok esetében.

Az augusztust száraz, meleg időjárás jellemezte. Igen kevés csapadék hullott, a többi adagban összesen lehulló 15 mm-nyi mennyiség szinte elhanyagolható, ilyen magas hőmérsékletek mellett. A hőmérséklet kezdetben még átlag körül alakult, kedvező körülményeket biztosítva a szentelítődésnek. A hónap végét jelentős pozitív anomália jellemezte, ami felgyorsította az érési folyamatot.

Szeptemberben a hőmérséklet (17,1 °C) kissé az átlag felett, a csapadék-mennyiség (35 mm) kissé az átlag alatt volt. Ez összességében megfelelő körülményeket biztosított az érési folyamat, illetve a vízleadás számára.

Október elején volt egy hűvös és csapadékos periódus, de a hónap hátralevő részében kifejezetten meleg, napos, száraz időjárás uralkodott, kedvezve a betakarítási munkáknak.

### **Következtetések**

A havi felbontású meteorológiai adatok (havi középhőmérséklet, havi csapadékösszeg) nem minden évben adnak magyarázatot a termésátlag anomáliára. A dekádszintű felbontásban viszont már megjelennek azok a szignifikáns hatású időjárási szélsőségek is, amelyek havi átlagban/összegben nem. Elemzéseink eredménye szerint az évjárat meteorológiai értékelésében mindenképpen szükséges a szélsőségesség/kiegyenlítettség vizsgálata a dekád adatok alapján.

## Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program NKFIH-1150-6/2019 számon támogatta, a Debreceni Egyetem 4. tématerületi programja keretében.

## Irodalom

- Nagy, J.:* 2007. Maize Production. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy, J.:* 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. *Időjárás*. 116. 1: 39–52.
- Márton L.:* 2004. A műtrágyázás és a csapadék változékonyságának hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Agrokémia és Talajtan*. 54. 3–4: 309–324.
- Széles, A.–Horváth, É.–Vad, A.–Harsányi, E.:* 2018. The impact of environmental factors on the protein content and yield of maize grain at different nutrient supply levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 30. 9: 764–777.
- Ványiné Széles, A.–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.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Dr. Nagy János – Dr. Gombos Béla  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4302  
\*nagyjanos@agr.unideb.hu

Dr. Nyéki Anikó  
Széchenyi István Egyetem MÉK  
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Vár 2.  
H-9200





## Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen-Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával

<sup>1</sup>NYÉKI ANIKÓ – <sup>2</sup>GOMBOS BÉLA – <sup>2</sup>NAGY JÁNOS

<sup>1</sup>Széchenyi István Egyetem MÉK,

Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

Vizsgálatunk célja a Debrecen-Látókép tartamkísérlet eredményeinek értékelése a DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) szoftver Ceres-Maize döntéstámogató modelljével. Az elemzés elsősorban a tartamkísérlet adatbázisainak adaptálását és a modell kalibrálását foglalta magában. A validáláshoz szükséges adatokat a kísérleti helyszínről helyspecifikus – a precíziós növénytermesztés feltételeinek megfelelő – tartamkísérletből származnak.

A vizsgálatban a 2016 és 2017-es év tartamkísérlet eredményeit használtuk fel egy FAO 340-es kukorica hibrid műtrágyakezelésének összefüggés-vizsgálatára.

A Ceres-Maize modell kukorica hozam előrejelzéséhez különböző tápanyagkezeléssel (nitrogéntartalom – 0, 30, 60, 90, 120, 150 kg/ha) beállított parcellákat vontunk be. A Látóképen 1983-ban beállított, hosszú távú kísérlet az N-műtrágya-alkalmazásokkal megbízható adatbázist szolgáltatott.

A növénysszimulációs modellek figyelembe veszik a talaj-növény-légkör elemeit, így hozzájárulhatnak a víz, a tápanyagok és a mikroelemek hatékonyságának optimalizálására. Az általuk elvégzett vizsgálatok növelik a növénytermesztés (optimális hozam) és a vízfelhasználás hatékonyságát.

**Kulcsszavak:** tartamkísérlet, kukorica, hozampredikció, N-műtrágya reakció, Ceres-Maize modell

## **Evaluating the efficiency of nitrogen fertilisation using the Ceres-Maize model and the long-term experiment results of Debrecen-Látókép**

<sup>1</sup>A. NYÉKI - <sup>2</sup>B. GOMBOS - <sup>2</sup>J. NAGY

<sup>1</sup>Széchenyi István University, Faculty of Agricultural and Environmental Sciences,  
Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute for Land Utilisation, Regional Development  
and Technology, Debrecen

### **Summary**

The aim of our study is to evaluate the results of the Debrecen-Látókép long-term experiment with the Ceres-Maize decision support model of the DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) software. The analysis primarily involved adaptation of the long-term experiment databases and calibration of the model. The data required for validation from the experimental site is derived from a site-specific, long-term experiment that meets the conditions for precision crop production.

In this study, we used the results of a 2016 and 2017 long-term experiment to perform a correlation analysis of the fertiliser treatments of a FAO 340 maize hybrid.

Plots of different nutrient treatments (nitrogen content – 0, 30, 60, 90, 120, 150 kg per hectare) were applied for the yield prediction of the Ceres-Maize model. The long-term experiment established in Látókép in 1983 provided a reliable databased with N fertiliser applications.

Plant simulation models take into account soil-plant-atmosphere elements and can thus contribute to optimising the efficiency of water, nutrients and trace elements. Their research increases the efficiency of crop production (optimum yield) and water use.

**Key words:** long-term experiment, maize, yield prediction, N-fertiliser reaction, Ceres-Maize model

## Исследования эффективности азотного удобрения с моделью «Ceres-Maize» с использованием результатов продолжительного опыта в Дебрецене в Латокепи

<sup>1</sup>А. НЬЕКИ – <sup>2</sup>Б. ГОМБОШ – <sup>2</sup>Я. НАДЬ

<sup>1</sup>Университет им.Сечени Иштвана МЭК,

Кафедра Биологических Систем и Техники Пищевой Промышленности,  
Мошонмадьяровар,

<sup>2</sup>Дебреценский Университет МЭК,

Институт Землепользования, Технический и Развития Территорий, Дебрецен

### Резюме

Цель нашего исследования – оценка результатов продолжительного опыта в Дебрецене (Латокейп) с софтвером «DSSAT» (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) с моделью поддерживающей решения Ceres-Maize. Анализ в первую очередь включал в себя адаптацию базы данных продолжительного опыта и калибровку модели. Необходимые для валидации данные происходят специфично с места продолжительного опыта – соответственно условиям прецизионного растениеводства.

В исследовании использовали результаты продолжительных опытов 2016-го и 2017-го годов для исследования взаимосвязей внесения искусственного удобрения гибрида кукурузы FAO 340.

Модель «Ceres-Maize» для прогнозирования модели урожая кукурузы использовали установленные с различными дозами обработок парцеллы (содержание азота – 0, 30, 60, 90, 120, 150 kg/ha). Установленный в местечке Латокеп(Látókép) в 1983 году, продолжительный опыт служил надёжной базой данных применения искусственного удобрения N.

Растения симулирующей модели принимают во внимание элементы почвы-растения-атмосферы, так могут способствовать оптимизации эффективности воды, питательного вещества и микроэлементов. Проведённые нами исследования увеличивают эффективность растениеводства (оптимальный урожай) и водопользования.

**Ключевые слова:** продолжительный опыт, кукуруза, прогнозирование урожая, реакция на искусственное удобрение N, модель «Ceres-Maize»

## Bevezetés

A szimulációs döntéstámogató modellek célja a talaj–növény–légtér rendszer együttes kezelése: elsősorban az adott kultúrnövény fejlődésének és növekedésének leírására szolgál figyelembe véve a környezetében lejátszódó (légtérben és talajban) bonyolult folyamatokat, az agrotechnikai beavatkozásokkal együtt, általában napi léptékben leírva, mely részletes meteorológiai és klimatikus elemzést igényel.

*Ben-Ari et al.* (2016) szerint a termés egyik legjobb klimatikus indikátora a június-július időszak átlagos maximum hőmérséklete, mely a virágzás előtti, illetve alatti hőstressz kifejezője. Amennyiben a júniusi átlagos  $T_{\max}$  meghaladja a 25 °C-ot, az extrém termésveszteség valószínűsége jelentősen növekszik, a bekövetkezési valószínűség több mint 50%, ha a  $T_{\max}$  átlaga 29 °C feletti. *Schlenker és Roberts* (2009) az USA megyei szintű termésátlagaiban a 29 °C feletti hőmérséklet negatív hatását mutatták ki. A hőstressz terméscsökkenő hatása a reprodukív fenofázisban, azon belül is különösen a virágzás idején a legjelentősebb (*Wheeler et al.* 2000). A terméskomponensek közül a csövenkénti szemek száma reagál legérzékenyebben (*Otegiu és Bonhomme* 1998, *Cicchino et al.* 2010). A szemszám kialakulása szempontjából az aktív csőnnövekedés időszaka a kritikus. *Otegiu és Bonhomme* (1998) hőösszeg módszerrel ezt a kritikus periódust a nővirágzást megelőző 250 foknap és az azt követő 100 foknap által kijelölt időponttal adják meg. A jelenség a csökkenő nettó asszimilációra, illetve a hőstressz reprodukív folyamatokra gyakorolt közvetlen hatására vezethető vissza (*Barnabás et al.* 2008). A pollen életképességét rontja a 35 °C feletti hőmérséklet, a károsodás különösen jelentős nagy telítettségi hiány (alacsony légnedvesség) esetén (*Fonseca és Westgate* 2005).

A szimulációs rendszerszemléletű modellezést az 1930-as években az N-LEAP modellel kezdték, mely a talaj nitrát-nitrát mozgásának, kimosódásának leírásul szolgált, ennek „továbbgondolásával” született meg az 1970-es években a CERES programcsalád. A DSSAT (Decision Support System for Agrotechnology Transfer) programot Magyarországon elsőként a Debreceni Egyetem kutatói alkalmazták a tartamkísérletek adatbázisait felhasználva. *Kovács és Németh* (1995ab) kukorica és búza hozamainak, környezeti tényezőinek meghatározására használta fel a nagyhorcsóki szántóföldi kísérletet alapul véve. *Kovács et al.* (1995), valamint *Huzsvai* (2000) részletes leírást közölnek a modell felépítéséről, működéséről mind oktatási, mind kutatási céllal, s mutatják be né-

hány gyakorlati példán keresztül a rendszer alkalmazhatóságát. A látóképi tartamkísérlet adatbázisát alapul véve – többek között *Huzsvai és Nagy (1994)*, *Kovács és Németh (1995ab)*, *Kovács és Nagy (1997)*, valamint kukorica hibridek műtrágya-reakcióit, öntözési, talajművelési, növényszám hatásait elemezték különböző évjáráthatásokat figyelembe véve.

*Kovács et al. (1995)* véleménye szerint a modell kedvező talajkondíciók esetén az egyes talajrétegekben jól becsli az  $\text{NO}_3\text{-N}$  forgalmat, *Rani et al. (2014)* szintén megfelelőnek találta az N-körforgalom modellezését. *Liu et al. (2012)* a modell felülbecslését a talaj mikrobiális aktivitásának, illetve az átlagostól magasabb csapadéku évjáratoknak tulajdonította. *Zha et al. (2014)* NPK reakció vizsgálatában, e tényezők mellett a talaj szervesanyag-tartalmát jelöli meg, mint befolyásoló tényezőt a kukorica hozamra vonatkozóan.

Modellek összehasonlítása mellett a fenológiai és N-műtrágya hatásának bemutatására *Ines et al. (2001)* megfelelőnek véli a DSSAT-ot, de a vízstressz, vagy a talaj nedvességtartalmának kifejezésére kevésbé tartja alkalmasnak.

A Ceres-Maize modell érzékenysége kiterjed a szélsőséges meteorológiai évjáratokra, vegetációs periódusokra is. Magyarországon a termés mennyiségét leginkább meghatározó meteorológiai tényező a csapadék, a kukoricatermelés legnagyobb problémája a vízhiány. A tenyészidőszakban a növény vízigénye jelentősen meghaladja az átlagos csapadékot, a fő termőterületeken 100–150 mm-rel, helyenként 200 mm-rel, csupán a Dunántúl délnyugati részén kisebb mértékű a vízhiány (40–80 mm) (*Nagy 2007*). *Nagy (2012)* debreceni tartamkísérlet adatai alapján erős pozitív korrelációt mutatott ki a vegetációs időszak csapadékösszege és a termésátlag között. *Márton (2004)* vizsgálatai szerint az összefüggés legpontosabban másodfokú függvénnyel írható le.

A meteorológiai tényezők tenyészidőszakon belüli eltéréseinek figyelembe vételével pontosabban feltárhatók a termés csökkenés okai (*Hu és Buyanovský 2003*, *Ceglar et al. 2016*). A kukorica különösen a virágzás-terméskötődés időszakában érzékeny a vízhiányra, meghatározó a július 15. és augusztus 15. közötti időszak csapadékösszege (*Megyes et al. 2000*). A hazaitól eltérő éghajlatú területeken folytatott vizsgálatok szerint a vízhiányra legérzékenyebb fenofázis a címerhányást közvetlenül megelőző időszaktól a szemtelítődés középső szakaszáig tart (*Nielsen et al. 2010*). A virágzás idején, illetve azt megelőzően jelentkező vízhiány a szemszám csökkenésben nyilvánul meg, a megtermékenyítés után bekövetkező szárazság hatása a kisebb szemtömegben nyilvánul meg, szignifikáns termés csökkenést okozva (*Westgate és Boyer 1986*, *Lauer 2003*, *Smith et al. 2004*).

*Wu et al.* (1989) szerint a modell, esős és szárazabb években túl-, illetve alábecsüli a szemtermést. Extrém csapadékos évben (*Quiring és Legates* 2008, *Liu et al.* 2011) és öntözött körülmények között (*Carberry et al.* 1989) szisztematikusan felülbecsli a hozamokat. *Li et al.* (2015) vizsgálatában két évben nagymértékű eltérést észlelt, ezek kiemelkedően száraz évjáratok voltak. Megegyező tapasztalatokról számol be *Liu et al.* (2011) is, miszerint alacsony csapadékú évben a modell a kukoricahozamot alulprediktálta. *Quiring és Legates* (2008) vizsgálatában kukorica predikcióinak átlagos százalékos hibája a futtatott környezetre 4,8–46,6% közé esett, ez 471 és 2407 kg/ha-os eltérést adott. Pontos, megbízható hozambecslést a kultúrnövény vegetációs időszakában végzett mérésekkel tudtak adni, mert a vetéskor végzett predikciók pontatlansága elérheti az 50%-ot is (*Soler et al.* 2007). *Kovács et al.* (1995) szerint a modell nagyon érzékeny a földrajzi szélességi fokokra. A túlzott sugárzási adatok miatt hajlamos szárazabb, aszályosabb körülmények között alulbecsülni a termést. Másrészt a csapadékmennyiség megadásának pontossága járul hozzá a korrekt eredményekhez, mivel ennek térbeli eloszlása egyenlőtlen, tehát a meteorológiai adatoknak a modellezett terület közvetlen közeléből kell származniuk. *Quiring és Legates* (2008) megállapításai szerint a modell részben érzékeny a sortávolságra, a tőszámra, a vetési mélységre, a vetés és a betakarítás időpontjára, a hibridre, a talajtípusra és a talaj nedvességére, valamint a hőmérsékletre és a globálisugárzás mértékére. A szerzőpáros külön felhívja a figyelmet a talajtípus és a csapadék összefüggésének hatására, valamint annak időpontjára, mely az extrém érzékenységgel bírhat a hozam alakulására.

Több tanulmányban validálták a modellt precíziós körülményeket figyelembe véve. A DSSAT szoftver szója (SOYBEAN) és őszi búza (Ceres-Wheat) növényi modelljét precíziós körülmények között adaptálta már *Booltink et al.* (2001) Hollandiában, Közép-Amerikában és Afrikában, kutatásaiban elsősorban a talaj térbeli változékonyságára tett válaszát vizsgálta a modelleknek. *Basso et al.* (2001) szintén a szoftver szója modelljét alkalmazta, a táblán belüli ~0,5 tonnás prediktált hozamkülönbséget a talaj-változékonysággal indokolta, a hozam értékeket távérzékeléssel nyert NDVI indexszel folyamatosan korrigálta.

Kisparcellás kísérlet elemzésére alkalmazta a modellt: *Saseendran et al.* (2005) és *Li et al.* (2015). *Megyés* (2001) hazai tartamkísérleteket felhasználva értékelte a Ceres-Maize 3.5 verzióját és megállapította, hogy meteorológiai anomáliák esetén a modell a biomassza-tömeget és a szemtermést is félrebecsülheti.

*Thorp et al.* (2008) üzemi körülmények között alkalmazta a Ceres-Maize modellt beépítve az Apollo (*Graeff et al.* 2012) döntéstámogató rendszerébe. Egy 20,25 ha-os kísérleti táblát 20 (*Thorp et al.* 2007), közel 100 management zónára osztott, ez alapján validálta az Apollo vázrendszerében a jelenlegi és a jövőbeni kukoricahozamot. Vizsgálatai alapján megállapította, hogy a későbbiekben nagyobb kezelési egységek is éppoly hatékonyak lehetnek, mivel a hozamok kisebb térbeli eloszlást mutatnak. *Paz et al.* (1999) optimális (141–160 kg/ha) N trágya kijuttatását (60–220 kg/ha között) vizsgálta egy 16 ha-os tábla ~500 m<sup>2</sup>-es egységein. A modell ±14%-os eltéréssel becsült táblaszinten három éven át, a kezelési egységek tekintetében azonban a legkiemelkedőbb eltérés hat tonna volt.

A természetstechnológiák eredményessége függ az időjárástól, a talajművelés módjától, az előveteménytől, a tápanyag-ellátottság szintjétől, a fajtától (*Széles et al.* 2018, 2019). Mindezen környezeti tényezők és a természetstechnológia kölcsönhatásának elemzésére lehetőség van a talaj–növény–légtér szemléletű rendszermodellekben. Többek között a precíziós növénytermesztési technológiák adaptálására és a növényfiziológiai és agrár-ökoszisztémára alkalmazott modellek fejlesztésére különösen a tartamkísérletek eredményeivel.

## Anyag és módszer

### *Kísérleti körülmények*

Az elemzés adatbázisait a több mint 30 éves Látóképi Tartamkísérlet (N 47°33' E 21°27') szolgáltatta. A háromtényezős szabadföldi tartamkísérlet négyismétléses, sávos elrendezésű. Egy ismétlésen belül randomizálva hat műtrágyakezeléssel, valamint 15 hibrid öntözött és öntözés nélküli változatban azonos, hetvenezer növényszám beállításával. Egy ismétlés mérete: 1260 m<sup>2</sup>, a műtrágyázási parcelláké: 210 m<sup>2</sup>. 2016-ban és 2017-ben az NPK műtrágyázási kísérlet 0 kg N/ha, 30 kg N/ha, 60 kg N/ha, 90 kg N/ha, 120 kg N/ha és 150 kg N/ha dózislépcsőkkel valósult meg (*1. ábra*).

### *DSSAT v4.7 Ceres-Maize adatigénye és beállításai*

A vizsgálatokhoz a DSSAT v4.7 szoftver Ceres-Maize modelljét (*Jones et al.* 2003) alkalmaztuk. A modell többek között alkalmas a növényi produkció (biomassza és szemtermés), levélfelület, gyökerezési mélység, vízmozgás talajrétegenként, valamint az N és P mozgását leképezni a vegetációs fázisban. Napi



léptékben számol és ad eredményeket, ennek megfelelően az időjárásra vonatkozó adatigénye is napi részletességű.

1. ábra. Kísérleti területen elhelyezkedő NPK kísérlet

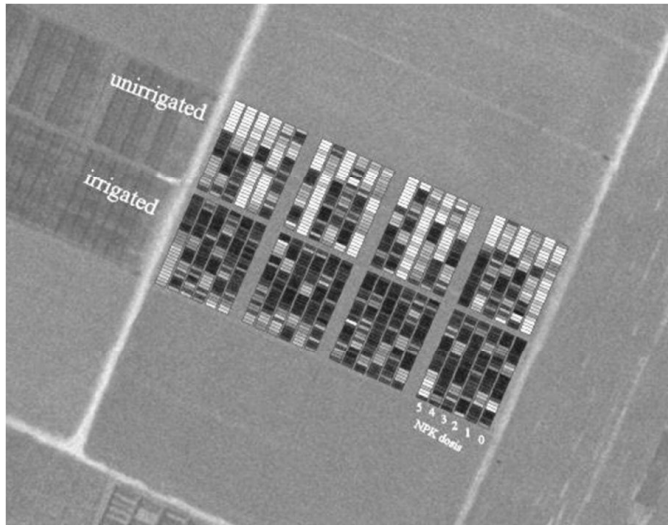


Figure 1. NPK experiment in Látókép

### Meteorológiai adatok

A Debrecen-Látóképen folyó kísérletek időjárási viszonyainak értékelését a Debreceni Egyetem Agrometeorológiai és Agroökológiai Monitoring Központ által működtetett, közvetlenül a kísérleti parcellák mellett elhelyezett automata meteorológiai állomás adatai alapján végeztük el (Gombos és Nagy 2019). A modellhez szükséges paraméterek a következők voltak: minimum hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ), maximum hőmérséklet ( $^{\circ}\text{C}$ ), csapadékmennyiség (mm), globálsugárzás értéke ( $\text{MJ}/\text{m}^2$ ), relatív páratartalom (%) és a szélsősebesség átlaga (m/s).

### Talajadatok

A kísérlet talajtípusát az USDA (URL1) szerinti frakció (szemcseeloszlás, %) beosztása alapján határoztuk meg (1. táblázat). Fizikai féleségét tekintve a talaj iszapos vályog kategóriába sorolható. A talajminták 140 cm mélységig álltak rendelkezésünkre. A talaj fizikai kondíciója mellett annak térfogattömege, pH-ja, foszfor-, kálium- és nitrogén ellátottsági szintje került meghatározásra.

1. táblázat. *Talajfizikai jellemzők a kísérleti területen*

Talajmélység (cm) (1)	Homok (2)			Iszap (3)			Agyag (4)
	2- 0,25	0,25- 0,05	0,05- 0,02	0,02- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,002	<0,002
0-20	0,08	8,24	34,81	12,78	8,55	7,47	28,07
20-45	0,04	8,60	32,72	15,34	8,05	7,34	27,91
45-65	0,04	10,39	32,43	15,51	7,80	8,81	25,02
65-95	0,24	10,15	29,11	14,88	7,87	10,12	27,63
95-105	0,20	8,36	32,82	15,93	7,79	8,20	26,70
105-140	0,32	11,50	34,08	15,70	8,12	7,28	23,00

Table 1. Soil physical properties in the experimental field. (1) Soil depth (cm), (2) Sand, (3) Silt, (4) Clay

### *Kísérletbe vont hibrid/genetikai paraméterek*

A genetikai koeficiensek validására nagy hangsúlyt fektettünk: a szántóföldi kísérletben mért fiziológiai érettség, betakarítás után mért szemtermés, szemszám, nővirágzás idejét, valamint a levélterületi indexet a modellben tesztelhető érzékenységi vizsgálatban futtattuk le. A kísérletben mért levélterületi indexet szisztematikusan felülbecsülte a modell. A szántóföldi kísérletben (11 db mérési pontban) Hanway skála alapján a 2018-as vegetációs időszakban került sor a hibridek karakterizációjára, ezen értékeket használtuk fel a genetikai paraméterek meghatározására.

A kísérletben és modellben felhasznált hibrid (FAO 340) genetikai paramétereit a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat. *A FAO 340-es kukorica hibrid genetikai koeficiensei*

	P1	P2	P5	G2	G3
FAO 340	118	0,5	926	7,1	42

Table 2. Genetic coefficients for FAO 340 maize hybrid

P1 a juvenilis fázis végéig szükséges effektív hőösszeg (°C nap), P2-es paraméter a fotoperiodikus érzékenységet jelenti, P5-ös paraméter a nővirágzástól a fiziológiai érettségig eltelt hőösszeget foglalja magába (°C nap), G2-vel az egy

csövön lévő szemek számát jelöli a modell, míg a G3-as paraméter a szárazanyag-beépülés maximális sebességét fejezi ki (mg/nap).

A modellben szereplő, többi szükséges információ és adat a tartamkísérletben elvégzett agrotechnológiai műveletek (talajművelés, vetés, műtrágya-kijuttatás, betakarítás módja és időpontjai stb.) alapján került felhasználásra. A műtrágya-kijuttatás dózisait a 3. táblázatban közöljük, az alkalmazott agrotechnológiai eljárások közül ez képezte, határozta meg vizsgálatunk célját. Minden – a modellben használt – kezdeti és végdátumot a szimulációban releváns adatok alapján adtuk meg, tehát az agrotechnológiai időpontoknak megfelelően (pl. vetési időpont az adott évben és betakarítás időpontja). A Ceres-Maize alkalmazhatóságának megfelelően az evaporáció leírására, a talajban lejátszódó folyamatok modellezésére, vízkapacitási értékek futtatására és az evapotranspiráció meghatározására Ritchie, illetve Ritchie-Ceres (Priestley-Taylor/Ritchie) algoritmusokat alkalmaztunk.

3. táblázat. A kísérletbe vont különböző kezelések műtrágya mennyisége

Műtrágya mennyiség (1)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Összesen (2)
0	-	-	-	-
1	30	23	27	80
2	60	46	54	160
3	90	69	81	240
4	120	92	108	320
5	150	115	135	400

Table 3. Fertiliser inputs of the different treatment in the experiment. (1) Fertiliser amount, (2) Total

## Eredmények és értékelés

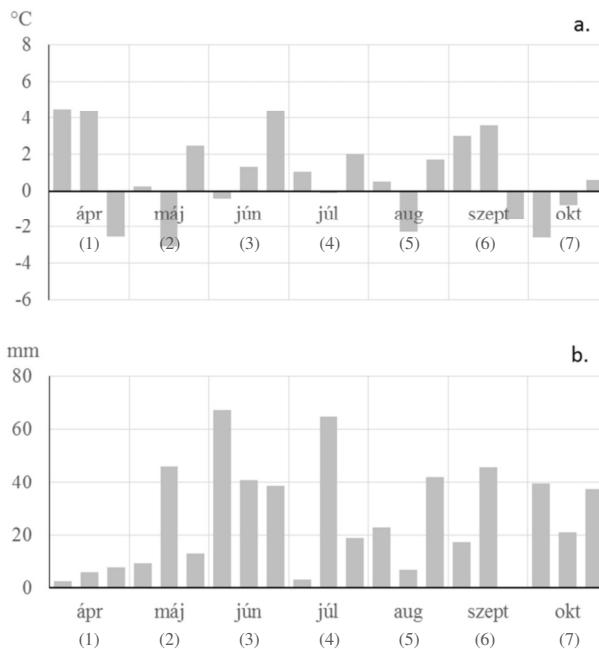
### Az időjárási elemek értékelése

Elemzéseink alapján megállapítottuk, hogy a csapadék adatok jelentős eltéréseket mutatattak (2. ábra). A 2016-os nyári félév csapadéka lényegesen meghaladta az átlagot, elérte a 453 mm-t. A 2017-es évjárat átlagos (+8 mm) csapadékellátottsága nem utal a kukorica számára (3. ábra) kedvezőtlen körülményekre, pedig ebben az évben volt legkisebb a termésátlag. Feltétlenül indokolt tehát a kukorica termése szempontjából kritikus időjárási hatások beazonosítása a tenyészidőszak során.

## - 2016 időjárása

A téli félévben a sokévi átlagnál lényegesen több csapadék esett. A talajok szántóföldi vízkapacitásukig tudtak telítődni, sőt a mélyebb fekvésű területeken a belvíz is megjelent, ez azonban a kísérleti parcellákat nem érintette. Ezek után kedvező hatást gyakorolt a meglehetősen száraz, meleg április. A hónap első két dekádja több mint 4 °C-kal volt melegebb az átlagosnál (2. ábra). A hónapban 16 mm csapadék hullott, több részletben. A kísérleti terület jó talajszerkezetének köszönhetően a vetés megfelelő minőségben, nedves talajrétegbe történt. Megjegyezzük, hogy ahol a vetés túlzottan kiszárított magágyba történt (főként a kötöttebb talajú területeken), a kelés nem volt megfelelő, mivel május közepéig kellett várni az érdemleges csapadéokra.

2. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2016 tenyészidőszakában Debrecen–Látóképen



Forrás: Gombos és Nagy (2019)

Figure 2. Difference between the mean temperatures of the decade from the multiple-year average (a); precipitation sums (b) in the 2016 growing season in Debrecen–Látóképen. (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September, (7) October, Source: Gombos and Nagy (2019)

A tenyészydőszak hátralévő részét a sok csapadék és az átlag feletti hőmérséklet jellemezte, közel ideális feltételeket biztosítva a kukorica fejlődése, növekedése és termésképzése tekintetében. Minden hónapban átlagot meghaladó csapadék hullott. A nyári félév összes csapadéka 453 mm, melyből kiemelendő a 146 mm-es júniusi és a 87 mm-es júliusi érték. A hőmérséklet többnyire az átlagos felett volt, de nem alakult ki hosszú, szélsőségesen meleg időszak. A szeptemberi és a júniusi pozitív hőmérsékleti anomália megközelítette a 2 °C-ot, a júliusi anomália 1 °C volt. Az augusztusi középérték éppen megfelelt a sokévi átlagnak.

A csapadékos időjárás októberben is folytatódott, ráadásul hűvös időjárás-hoz kapcsolódva. A vizsgált öt év októberei közül a 2016-os volt a leghűvösebb és a legcsapadékosabb (98 mm). Ez a szemek vontatott vízleadását eredményezte, továbbá a gyakran vizes, sáros talajok a betakarítást is akadályozták.

#### - 2017 időjárása

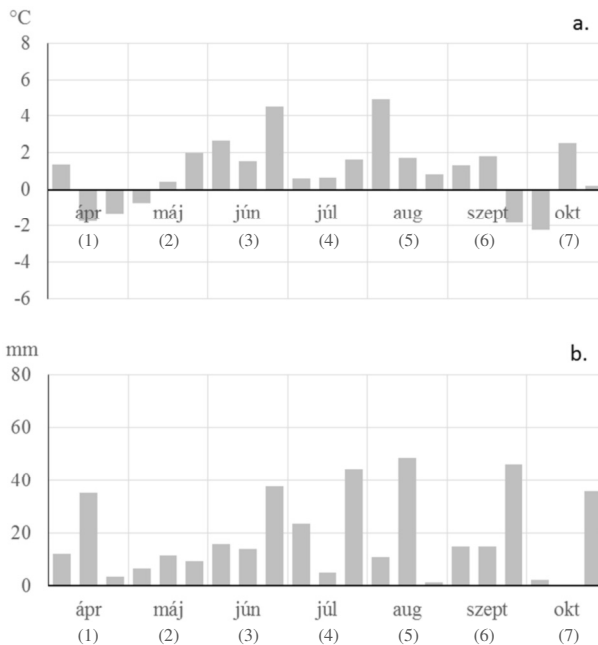
A vetést megelőző időszakban a talajok megfelelően feltöltődtek vízzel, még a mélyebb rétegekben is. A nyári félévben lehullott csapadék (354 mm) lényegében megegyezik a sokéves átlaggal (+8 mm), ráadásul a havi összegek tekintetében igen kiegyenlített volt (3. *ábra*). Csupán a májusi negatív és a szeptemberi pozitív anomália volt számottevő, a többi hónap csapadéka a sokévi átlag körül alakult. A hőmérsékleti viszonyok meghatározó jellemzője, hogy május közepétől szeptember közepéig minden dekád – kisebb vagy nagyobb mértékben – de az átlagosnál melegebb volt. A kísérleti időszakban összességében ez volt a legmelegebb nyári félév. A május +0,6, a június +2,9, a július +1,0, az augusztus +2,4 °C-os hőmérsékleti anomáliával zárt. A hőség csúcspontja augusztus elejére esett. A dekádátlagban 5 °C-os pozitív anomália, jelentős hőstresszt okozhatott a virágzást követő érzékeny fenofázisban. Ugyanakkor kedvező volt, hogy az ezt megelőző és az ezt követő dekádban is 40 mm feletti csapadék hullott, átmenetileg mérsékelve a vízhiányt.

A 2017-es igen alacsony termésátlag (a vizsgálati időszakban a legkisebb) azt bizonyítja, hogy a sokévi átlagnak megfelelő és nem szélsőséges eloszlású csapadék nem képes megóvni az állományt a tartós és időnként szélsőséges meleg károsító hatásától.

A szeptember 20-a körüli hűvös, csapadékos időszakot követően közel egy hónapos napos, száraz, enyhe időszak következett, mely kedvező feltételeket biztosított a kukorica vízleadása és a betakarítás számára. Szeptember 24-től az

október 13-i betakarításig csak jelentéktelen napi csapadékok fordultak elő (összesen négy alkalommal 1 mm-t meg nem haladó), 20 °C körüli napi maximumhőmérsékletek mellett (Gombos és Nagy 2019).

3. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2017 tenyészidőszakában Debrecen–Látóképen



Forrás: Gombos és Nagy (2019)

Figure 3. Difference between the mean temperatures of the decade from the multiple-year-average (a); precipitation sums (b) in the 2017 growing season in Debrecen-Látókép. (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September, (7) October, Source: Gombos and Nagy (2019)

### Ceres-Maize szimuláció eredménye az NPK kísérlet adatbázisa alapján

A Ceres-Maize modellel történő szimulációkat mindkét évben (2016, 2017) több paraméter, változó becslésére is alkalmaztuk. Alábbiakban az adott tenyészidőszakok N-trágyázási kísérleteiben a szemtermés hozamainak elemzésére használtuk a modellt, a szimulációt az adott év körülményeinek megfelelően. A tárgyév szimulációs beállításait az adott év szántóföldi mérési eredményeiből, valamint agrotechnológiájának megfelelően végeztük el. Tesztnö-

vényünk egy FAO 340-es hibrid volt, melynek kalibrációját a modell futtatására alkalmas paraméterekre teszteltük előzetes szántóföldi mérési eredmények alapján. Az adatok feldolgozását jelentette továbbá, hogy például a humusz-tartalmat szerves szén (organic C) kategóriába számoltuk át a modell pontossága miatt, a szerves szénből pedig kiszámoltuk a talaj össznitrogén-tartalmát (%). A számolt és a labormintából származó eredmény  $R^2=0,93$  pontossággal egyezett meg.

Minden más paraméter meghatározáshoz szántóföldi mérési eredményeket használtunk fel, melyeket kezelési egység szinten (parcellánként), változtatás nélkül alkalmaztunk a modell futtatásakor.

A 4. táblázat a látóképi NPK kísérlet alkalmazott hatóanyagait (kg/ha) mutatja be a kísérletben több ismétlésben szereplő dózislépcsőkben (6). A modell szimulációs eredményei a kezelések, valamint az ismétlések átlagát (t/ha) mutatják.

4. táblázat. A FAO 340 kukorica hibrid mért és becsült terméseredményei (2016, 2017)

Év (1)	N (kg N/ha)	Szemtermés (kg/ha) (2)	
		Mért (3)	Becsült (4)
2016	0	8657	8469
	30	11036	10459
	60	12318	12123
	90	12773	13526
	120	13467	14303
	150	13858	15084
2017	0	5016	5326
	30	6629	7255
	60	8627	8465
	90	9652	8890
	120	11011	9812
	150	11688	9990

Table 4. Simulated and measured yield of the examined hybrid (2016, 2017). (1) Year, (2) Grain yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) Measured, (4) Simulated



Mindkét évben, az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján a modell pontosan becsülte a tesztelt kukorica hibrid szemtermését. A mért és a szimulációs modell által becsült terméseredményeket összehasonlítását a 4–5. ábra szemlélteti. A FAO 340 hibrid mért és becsült 2016-os hozamadatait  $r^2$  0,98 pontossággal (lineáris regressziós egyenes illesztés együtthatója), míg 2017-ben  $r^2$  0,99 összefüggéssel állapította meg.

4. ábra. FAO 340 hibrid mért és becsült hozamadatai (2016)

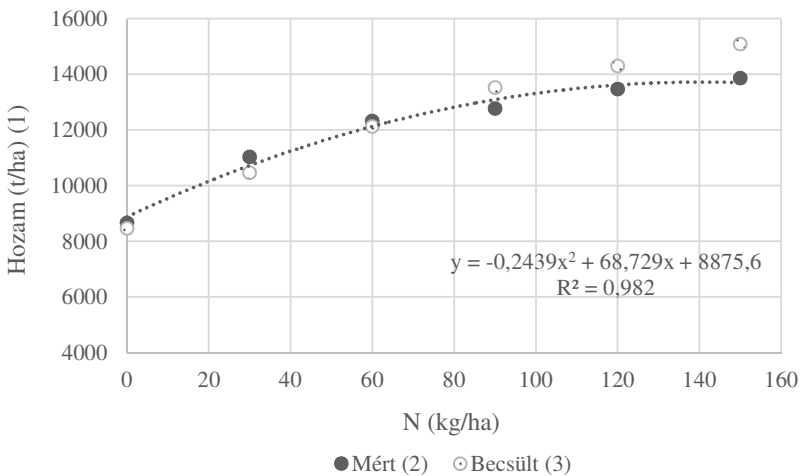


Figure 4. Measured and simulated yield of FAO 340 hybrid (2016). Yield ( $t\ ha^{-1}$ ), (2) Measured, (3) Simulated

Az eltérés valamennyi szimulációt illetően kizárólag a két évjáráthatásból adódott, mivel egyéb technológiai, beállítási módosításokat nem tettünk. Az ábrák (4–5. ábra) azt is tükrözik, hogy a vizsgált tényezők közül elsősorban a műtrágyázás (N dózis) befolyásolja jelentős mértékben a kukorica termését. A dózis emelésével kialakult kedvező tápanyag-ellátottság megbízhatóan növelte a FAO 340 hibrid termését mindkét évben. A csapadékosabb és kedvezőbb időjárás hatására 2016-ban magasabb hozamok voltak jellemzőek.

Ez az év a terméseredményét tekintve messze felülmúlta a vizsgált többi évet. Ebben meghatározó tényezők voltak (Gombos és Nagy 2019):

- a május közepétől folyamatosan jó vízellátottság a sokévi átlagot jelentősen meghaladó és megfelelő időbeli eloszlású csapadék miatt,
- az átlagos feletti, de szélsőségeségektől mentes hőmérséklet.

5. ábra. FAO 340 hibrid mért és becsült hozamadatai (2017)

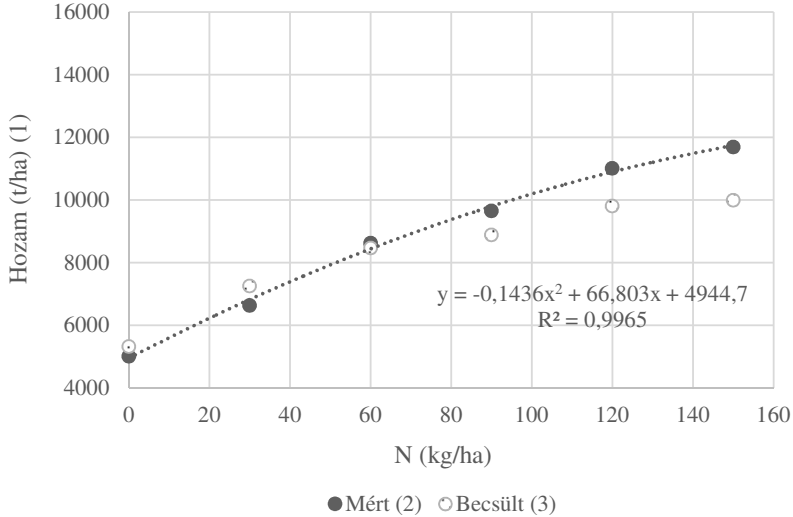


Figure 5. Measured and simulated yield of FAO 340 hybrid (2017). Yield (t ha<sup>-1</sup>), (2) Measured, (3) Simulated

A trágyázás hatása (N) 60 kg feletti kezelés esetén 2016-ban a Ceres-Maize modell felülbecsülte a szemtermés tömegét, míg 2017-ben az említett dózislépcsőtől alul prediktálta a kukoricahozamot.

Annak ellenére, hogy a szimulációhoz szükséges beállításokat, valamint a kezdeti talajnedvesség (vízforgalom, transzpiráció modellezése) a vegetációs időszakban mért kondíciókhoz igazítottuk a modell mindkét évben 60 kg/ha kijutatott nitrogéndózis után alul-, illetve felülbecsülte a mért terméseredményeinket. A dolgozat bevezetésében széles körben tárgyaljuk több szerző hasonló tapasztalatát, eredményeit. Kovács *et al.* (1995) a látóképi tartamkísérlet eredményei alapján kedvező talajkondíciók esetén megállapította, hogy a modell jól becsli a nitrogénforgalmat, valamint az N-reakció vizsgálatában az átlagosnál magasabb csapadéku években magasabb becsült kukoricahozamokat értek el (Liu *et al.* 2012, Rani *et al.* 2014).

### Következtetések

Kutatásaink alapján a Ceres-Maize modell alkalmas eltérő évjáratokban a kukorica hibridek legfontosabb paramétereinek megbízható becslésére. A becsült

eredmények (kelési időpont szimulációja, virágzás, szemtelítődés, vízforgalom modellezése stb.) bővebb elemzéseket kívánnak. A szárazanyag-beépülés tenyészidőszakbeli dinamikáját több hibrid segítségével, valamennyi kezeléskombináció tesztelésével van szükség a szimulációs eredmények, becslési hibák okainak feltárására. Ezen vizsgálatok hozzájárulhatnak a kukoricatermesztés vízfelhasználásának optimalizálására, továbbá a precíziós gazdálkodás gyakorlati adaptálására.

### Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program NKFIH-1150-6/2019 számon támogatta, a Debreceni Egyetem 4. tématerületi programja keretében.

### Irodalom

- Barnabás, B.–Jager, K.–Fehér, A.*: 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant Cell Environ.* 31: 11–38.
- Basso, B.–Ritchie, J. T.–Pierce, F. J.–Braga, R. P.–Jones, J. W.*: 2001. Spatial validation of crop models for precision agriculture. *Agric. Syst.* 68: 97–112.
- Ben-Ari, T.–Adrian, J.–Klein, T.–Calanca, P.–Van der Velde, M.–Makowski, D.*: 2016. Identifying indicators for extreme wheat and maize yield losses. *Agricultural and Forest Meteorology.* 220: 130–140.
- Booltink, H. W. G.–van Alphen, B. J.–Batchelor, W. D.–Paz, J. O.–Stoorvogel, J. J.–Vargas, R.*: 2001. Tools for optimizing management of spatially-variable fields. *Agric. Syst.* 70: 445–476.
- Carberry, P. S.–Muchow, R. C.–McCown, R. L.*: 1989. Testing the CERES-Maize simulation model in a semi-arid tropical environment. *Field Crop Research.* 20: 297–315.
- Ceglar, A.–Toreti, A.–Lecerf, R.–Van der Velde, M.–Dentener, F.*: 2016. Impact of meteorological drivers on regional inter-annual crop yield variability in France. *Agricultural and Forest Meteorology.* 216: 58–67.
- Cicchino, M.–Edretra, J. I. R.–Uribelarrea, M.–Otegui, M. E.*: 2010. Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop Sci.* 50: 1438–1448.
- Fonseca, A. E.–Westgate, M. E.*: 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research.* 94: 114–125.

- Gombos B.–Nagy J.: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. Növénytermelés. 68. 2: 5–23.
- Graeff, S.–Link, J.–Binder, J.–Claupein, W.: 2012. Crop models as decision support systems in crop production. [In: Peeyush Sharma (ed.) Crop Production Technologies.] InTech. University of Hohenheim.
- Hu, Q.–Buyanovsky, G.: 2003. Climate effects on corn yield in Missouri. Journal of Applied Meteorology. 42. 11: 1626–1635.
- Huzsvai L.: 2000. Számítógépes döntéstámogató rendszerek a szaktanácsadás szolgáltatásban [In: Nagy J. (szerk.) Fenntartható mezőgazdaság – minőségi termelés.] Vider Plussz. Debrecen. 108–157.
- Huzsvai L.–Nagy J.: 1994. Kukorica (*Zea mays* L.) tőszám és termésösszefüggés elemzése különböző biológiai érvényességgel rendelkező modellekkel. Növénytermelés. 43. 6: 533–544.
- Ines, A. V. M.–Droogers, P.–Makin, I. W.–Gupta, A. D.: 2001. Crop growth and soil water balance modeling to explore water management options. IWMI Working paper 22. Colombo Sri Lanka. International Water Management Institute.
- Jones, J. W.–Hoogenboom, G.–Porter, C. H.–Boote, K. J.–Batchelor, W. D.–Hunt, L. A.–Wilkins, P. W.–Singh, U.–Gijssman, A. J.–Ritchie, J. T.: 2003. The DSSAT cropping system model. Europ. J. Agronomy. 18: 235–235.
- Kovács G. J.–Németh T.: 1995a. Nitrogénforgalom modellezése tartamkísérletek adatbázisán. Agrokémia és Talajtan. 44. 3–4: 545–551.
- Kovács G. J.–Németh T.: 1995b. Termés és nitrát-felhalmozódás modellezése tartamkísérletekben. Agrokémia és Talajtan. 44. 1–2: 89–98.
- Kovács, G. J.–Németh, T.–Ritchie, J. T.: 1995. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. Agricultural Systems. 49: 385–397.
- Kovács, G. J.–Nagy, J.: 1997. Test runs CERES-Maize for yield and water use estimations. [In: Nagy, J. (ed.) Soil, Plant and Environment Relationships: Proceedings of the First and Second International Seminars on Soil and Plant Science.] 120–136., 17.
- Lauer, J.: 2003. What happens within the corn plant when drought occurs? Univer. Wisconsin Ext. <http://corn.agronomy.wisc.edu/WCM/W137.aspx>
- Li, Z. T.–Yang, J. Y.–Drury, C. F.–Hoogenboom, G.: 2015. Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. Agr. Syst. 135: 90–104.
- Liu, H.–Yang, J.–He, P.–Bai, Y.–Jin, J.–Drury, C. D.–Zhu, Y.–Yang, X.–Li, W.–Xie, J.–Yang, J.–Hoogenboom, G.: 2012. Optimizing parameters of CSM-CERES-Maize model to improve simulation performance of maize growth and nitrogen uptake in Northeast China. Journal of Integrative Agriculture. 11. 11: 1898–1913.

- Liu, H. L.–Yang, J. Y.–Drury, C. F.–Reynolds, W. D.–Tan, C. S.–Bai, Y. L.–He, P.–Jin, J.–Hoogenboom, G.*: 2011. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 89: 313–328.
- Márton L.*: 2004. A műtrágyázás és a csapadék változékonyságának hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Agrokémia és Talajtan.* 54. 3–4: 309–324.
- Megyes A.–Rátonyi T.–Huzsvai L.–Szabó Gy.–Dobos A.–Sum O.*: 2000. A műtrágyázás hatása a Dekalb 471 SC kukoricahibrid (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélkül és öntözéssel. *Növénytermelés.* 49. 3: 307–316.
- Megyes A.*: 2001. Növénytermesztési tényezők értékelése a CERES-Maize 3.5 modellel talajművelése tartamkísérletekben. Doktori (PhD) disszertáció. Debreceni Egyetem. Debrecen.
- Nagy, J.*: 2007. Maize Production. *Kukoricatermesztés.* Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy, J.*: 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. *Időjárás.* 116. 1: 39–52.
- Nielsen, D. C.–Halvorson, A. D.–Vigil, M. F.*: 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research.* 118: 259–263.
- Otegiu, M. E.–Bonhomme, R.*: 1998. Grain yield components in maize: I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research.* 56: 247–256.
- Paz, J. O.–Batchelor, W. D.–Babcock, B. A.–Colvin, T. S.–Logsdon, S. D.–Kaspar, T. C.–Karlen, D. L.*: 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. *Agric. Syst.* 61: 69–75.
- Quiring, S. M.–Legates, D. R.*: 2008. Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA. *Agricultural and Forest Meteorology.* 148: 964–975.
- Rani, P. L.–Sreenivas, G.–Reddy, D. R.*: 2014. Application of CSM-CERES-Maize model to define a sowing window and nitrogen rates for rainfed maize in semi-arid environment. *Int. J. Stress Manag.* 5. 2: 181–185.
- Schlenker, W.–Roberts, M. J.*: 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106: 15594–15598.
- Smith, W. C.–Betran, J.–Runge, E. C. A. (eds.)*: 2004. *Corn. Origin, History, Technology, and Production.* Hoboken. John Wiley. NJ. 949.
- Soler, C. M. T.–Sentelhas, P. C.–Hoogenboom, G.*: 2007. Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *Eur. J. Agron.* 27: 165–177.
- Széles, A.–Horváth, É.–Vad, A.–Harsányi, E.*: 2018. The impact of environmental factors on the protein content and yield of maize grain at different nutrient supply levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture.* 30. 9: 764–777.
- Széles, A.–Kovács, K.–Ferencsik, S.*: 2019. The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.* 123. 3: 265–278.

- Thorp, K. R.–Batchelor, W. D.–Paz, J. O.–Kaleita, A. L.–DeJonge, K. C.:* 2007. Using cross-validation to evaluate CERES-Maize yield simulations within a Decision Support System for Precision Agriculture. *Trans. of the ASABE.* 50: 1467–1479.
- Thorp, K. R.–DeJonge, K. C.–Kaleita, A. L.–Batchelor, W. D.–Paz, J. O.:* 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Comput. Electron. Agr.* 64: 276–285.
- Westgate, M. E.–Boyer, J. S.:* 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science.* 26: 951–956.
- Wheeler, T. R.–Craufurd, P. Q.–Ellis, R. H.–Porter, J. R.–Vara Prasad, P.:* 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *agric. Ecosyst. Environ.* 82: 159–167.
- Wu, Y. A.–Sakamoto, C. M.–Botner, D. M.:* 1989. On the application of the CERES-Maize model to the North China plain. *Agr. Forest. Meteorol.* 49: 9–22.
- Zha, Y.–Wu, X.–He, X.–Zhang, H.–Gong, F.–Cai, D.–Zhu, P.–Gao, H.:* 2014. Basic soil productivity of spring maize in black soil under long-term fertilization based on DSSAT model. *J. Integr. Agric.* 13. 3: 577–587.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Nyéki Anikó  
Széchenyi István Egyetem MÉK  
Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Vár tér 2.  
H-9200  
nyeki.aniko@sze.hu

Dr. Nagy János – Dr. Gombos Béla  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4302

## Termesztéstechnológiai tényezők kölcsönhatásainak vizsgálata őszi búza és kukorica tartamkísérletekben

PEPÓ PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK,  
Növénytudományi Intézet, Debrecen

### Összefoglalás

Tartamkísérletekben (beállításuk éve 1983) vizsgáltuk a növénytermesztési tényezők kölcsönhatását őszi búzánál és kukoricánál mészlepedékes csernozjom talajon. Kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy az őszi búza átlagos időjárású évjáratban adta a legnagyobb termést (bikultúra 8041 kg/ha, trikultúra 8617 kg/ha) és terméstöbbletet (5550 kg/ha, illetve 2994 kg/ha). Ezzel szemben a kukorica legnagyobb termését csapadékos évjáratokban kaptuk (monokultúra 13 014 kg/ha, bikultúra 12 599 kg/ha, trikultúra 12 795 kg/ha) és a trágyázási terméstöbblet is ekkor volt a legkedvezőbb (+5476 kg/ha, +2390 kg/ha, +2574 kg/ha). Az újabb nemesítésű búza és kukorica genotípusok tápanyag-reakciója, maximális termése meghaladta a régi genotípusok értékeit (genotípus×agrotechnikai elem kölcsönhatása). A tartamkísérleteink eredményei szerint az agrotechnikai elemek között is kölcsönhatás érvényesült. Az őszi búzánál a trágyázás×növényvédelem, a kukoricánál a trágyázás×állománysűrűség interakciót mutattuk ki. Optimális NPK trágyázásnál az intenzív növényvédelem a búzánál 1386–2188 kg/ha terméstöbbletet adott, míg a kukoricánál, a nagyobb tőszám (72,5–85 ezer/ha) terméstöbblete 2434–4593 kg/ha volt az alap tőszámhoz (60 ezer/ha) viszonyítva az eltérő vetésváltási rendszerekben.

**Kulcsszavak:** őszi búza, kukorica, évjárat, genotípus, agrotechnika, kölcsönhatások

## **Examining the interactions between various production technological factors in long term maize and winter wheat experiments**

P. PEPÓ

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

### **Summary**

The interaction of various crop production factors was examined in long-term experiments (established in 1983) on winter wheat and maize on calcareous chernozem. Our research findings showed that winter wheat provided the highest yield (biculture: 8041 kg ha<sup>-1</sup>, triculture: 8617 kg ha<sup>-1</sup>) and yield surplus (biculture: 5550 kg ha<sup>-1</sup>, triculture: 2994 kg ha<sup>-1</sup>) in an average crop year. In contrast, the highest yield surplus of maize was obtained in wet crop years (monoculture: 13 014 kg ha<sup>-1</sup>, biculture: 12 599 kg ha<sup>-1</sup>, triculture: 12 795 kg ha<sup>-1</sup>), while the yield surplus resulting from fertilisation was also the highest (+5476 kg ha<sup>-1</sup>, +2390 kg ha<sup>-1</sup>, +2574 kg ha<sup>-1</sup>, respectively). The nutrient response and maximum yield of newly bred winter wheat and maize genotypes surpassed the respective values of older genotypes (genotype×agrotechnical element). Based on the findings obtained from our long-term experiments, interaction was also shown between various agrotechnical elements. In the case of winter wheat, the interaction of fertilisation×crop protection was shown, while we observed the interaction of fertilisation×crop density in maize. In the case of optimum level NPK fertilisation, intensive crop protection resulted in a yield surplus of 1386–2188 kg ha<sup>-1</sup> for winter wheat, while maize produced a yield surplus between 2434–4593 kg ha<sup>-1</sup> as a result of increasing crop density from 60 (basic crop density) to 72.5–85 thousand crops per hectare in various crop rotation systems.

**Key words:** winter wheat, maize, crop year, genotype, agrotechnics, interactions



## Исследования взаимовлияний факторов технологии выращивания в продолжительных опытах озимой пшеницы и кукурузы

П. ПЕПО

Дебреценский Университет МЭК,  
Институт Ботаники, Дебрецен

### Резюме

В продолжительных опытах (год установки 1983) изучали взаимовлияния факторов растениеводства у озимой пшеницы и кукурузы на чернозёмной с известковым налётом почве. Результаты наших исследований подтвердили то, что озимая пшеница в году выращивания со средней погодой дала самый большой урожай (бикультура 8041 kg/ha, трикультура 8617 kg/ha) и прибавку урожая (5550 kg/ha и 2994 kg/ha). В отличии от этого самый большой урожай кукурузы получили во влажные годы выращивания (monokultúra 13 014 kg/ha, bikultúra 12 599 kg/ha, trikultúra 12 795 kg/ha) и также прибавка урожая с удобрением тоже в такое время была самой благоприятной (+5476 kg/ha, +2390 kg/ha, +2574 kg/ha). Реакция на питательные вещества генотипов кукурузы и пшеницы более новой селекции, их максимальный урожай превысили показатели старых генотипов (взаимовлияние генотип×агротехнический элемент). Согласно результатам наших продолжительных опытов среди агротехнических элементов также проявилось взаимовлияние. Мы показали интеракцию у озимой пшеницы удобрение×защита растений, у кукурузы удобрение×густота насаждения. При оптимальном удобрении NPK интенсивная защита растений у пшеницы дала прибавку урожая 1386–2188 kg/ha, а у кукурузы прибавка урожая была 2434–4593 kg/ha у большего числа стеблей (72,5–85 тыс/ha) была по сравнению к основному числу стеблей (60 тыс/ha) в различных системах севомена.

**Ключевые слова:** озимая пшеница, кукуруза, год выращивания, генотип, агротехника, взаимовлияния

## Bevezetés

Hazai és világviszonylatban is a két legnagyobb területen termesztett szántóföldi növényünk az őszi búza és a kukorica. Az országos termésátlagok mindkét növénynél nőttek az elmúlt években (őszi búza 5 t/ha, kukorica 7–8 t/ha), azonban jelentősen elmaradnak nem csak a két gabonanövény potenciális termőképességétől, hanem a hazai ökológiai feltételek között realizálható termés-szinttől is.

A búza termésmennyiségét részben az agroökológiai körülmények (évjárat, talaj), részben a fajta, részben az alkalmazott agrotechnikai műveletek szintje, intenzitása, illetve a végrehajtás minősége határozza meg (Bocz *et al.* 1983, Pepó 2000a, Ruzsányi és Csajbók 2001). A búza termésmennyiségét jelentősen befolyásolhatja a vetésváltás, az elővetemény. Az elővetemény nem csak a termésszintet határozza meg, hanem jelentős hatással lehet más agrotechnikai elemekre (tápanyagellátás, növényvédelem stb.), azok hatékonyságára is (Hornok és Pepó 2007, Pepó 2009). A búza termesztéstechnológiájában kulcsfontosságú agrotechnikai elem a tápanyagellátás, a trágyázás (Jolánkai 1982, Bocz és Pepó 1985, Ruzsányi 1991, Berzsényi 1993). A kijuttatott tápanyagok hatékony érvényesülését részben az agroökológiai feltételek (Kovacevic 2005), részben az alkalmazott genotípus (Pepó 2007), részben az agrotechnikai elemek (vetésváltás, öntözés, növényvédelem stb.) befolyásolhatják. Ugyancsak fontos agrotechnikai elem a búza termésmennyisége szempontjából a növényvédelem, elsősorban a megfelelő állományvédelem a különböző szár-, levél- és kalászbetegségekkel szemben (Pepó 2000b). Az alkalmazott fungicidkezelések hatékonyságát az évjárat jellege, a fajta betegségtoleranciája, az alkalmazott agrotechnika egyaránt módosíthatja.

Az egyes agrotechnikai tényezők eltérő mértékben befolyásolják a kukorica termésmennyiségét. Györfly (1976) tartamkísérleti eredményei alapján megállapította, hogy a kukorica termését 27%-ban a trágyázás, 26%-ban a fajta, 24%-ban az ápolás határozta meg, míg a talajművelésnek a hatása 3% volt. Berzsényi *et al.* (2011) ugyancsak a különböző agrotechnikai tényezők eltérő szerepét állapította meg tartamkísérletei alapján a kukoricatermesztésben (a trágyázás 30,6%, a hibrid-megválasztás 32,6%, a tőszám 20,8% hatással volt a kukorica termésére). A kukorica az önmaga utáni termesztést relatíve megfelelően tűrő növényi kultúra. Az utóbbi időben hazánkban is széleskörűen elterjedt amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* Leconte) lárva

és imágó kártétele miatt azonban napjainkban csak a részleges (2–3 év) monokultúrás termesztése javasolható. A vetésváltás alkalmazása kedvező hatással lehet más agrotechnikai tényezők agronómiai és biológiai hatékonyságára is (Győrffy és Berzsenyi 1992, Kurowski és Adamiak 2007, Vári és Pepó 2011). Sárvári (1995), Berzsenyi és Lap (2005), Nagy (2005), Árendás (2006), Pepó (2006), Izsáki (2007), Széll *et al.* (2010) ugyancsak több évtizedes tartamkísérleteik alapján bizonyították a műtrágyázás jelentős termésnövelő hatását a kukoricánál. A trágyázás termést befolyásoló hatását nagymértékben módosította a vízellátás (Körschens 2006, D’Haene *et al.* 2007, Vad *et al.* 2007, Pepó 2009, Vári és Pepó 2011). A kukorica hibridek tápanyagreakciója jelentősen eltér egymástól. Azok a hibridek különösen értékesek a gyakorlati termesztés szempontjából, amelyeknek jó a természetes tápanyaghasznosításuk és kedvező a műtrágyázás hatására kapott terméstöbbletük (Sárvári 1984, Pepó 2001). Az optimális, harmonikus NPK trágyázás mellett kiemelkedően fontos a termőhelyre, a hibridre és az agrotechnikai modellre adaptált állománysűrűség megválasztása a kukorica és búza termesztésben (Carlone és Russel 1987, Nagy 1989, Sárvári 1995, Pepó *et al.* 2006, Pepó és Csajbók 2014, Pepó és Murányi 2014). Különböző ökológiai és agrotechnikai feltételek mellett végzett kísérletekben a kukorica 80–90 ezer/ha állománysűrűségénél érte el a maximális termést (Widdicombe és Thelen 2002, Gozübenli *et al.* 2004, Hoshang 2012). Ugyanakkor nagyon szoros interakciót lehetett kimutatni a kukorica tőszáma és tápanyagellátása között, azaz megfelelő trágyaadagok nélkül nem lehetett az állománysűrűséget növelni (Russel 1991, Nagy 1996, Pepó és Vad 2017).

A két tartamkísérlet adatainak feldolgozásánál arra kerestünk választ, hogy az őszi búza és kukorica növényeknél milyen kölcsönhatások állapíthatók meg egzakt módon az i) agroökológiai (időjárás) feltételek, ii) a biológiai alapok és az iii) agrotechnikai elemek között. A többéves, évtizedes vizsgálati eredmények alapján megbízható következtetések levonására törekedtünk.

### Anyag és módszer

A tartamkísérletek Debrecentől 15 km-re, a Hajdúságban található (É. sz. 47° 33', K. h. 21° 27'). A kísérlet beállításakor végzett kiindulási talajvizsgálati eredmények azt bizonyították, hogy a csernozjom talaj fizikai és kémiai tulajdonságai (1. táblázat), valamint vízgazdálkodási paraméterei (2. táblázat) rendkívül kedvezőek.

1. táblázat. A kísérleti terület talajvizsgálatai  
(Debrecen)

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

Table 1. Soil analysis data of the experiment site (Debrecen). (1) Soil layer (cm), (2) Arany plasticity index, (3) Humus content (%), (4) Total N (%), (5) AL-soluble (ppm)

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

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

Table 2. Water management indexes of the soil at the experiment site (Debrecen). (1) Soil layer (cm), (2) Bulk density (Tt), (3) Pore volume (P%), (4) Gravitational pore space+air pockets (Pg+I%), (5) Minimum water capacity (VK<sub>min</sub>%), (6) Wilting point (HV%), (7) Hygroscopicity

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

A vizsgálati eredmények elemzése során két tartamkísérlet eredményeit használtuk fel. Mindkét tartamkísérlet 1983. évben lett beállítva.

A polifaktoriális tartamkísérletben speciális vetésforgókban a szántóföldi növények agrotechnikai elemeit (trágyázás, öntözés, állománysűrűség, növényvédelem) vizsgáljuk eltérő évjáratokban.

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

- vetésváltás
  - monokultúra: kukorica,
  - bikultúra: kukorica – búza váltás évenként,
  - trikultúra: borsó – búza – kukorica vetési sorrend;
- trágyázás
- öt tápanyagkezelés: kontroll, alapdózis  $N=50$  kg/ha,  $P_2O_5=35$  kg/ha,  $K_2O=40$  kg/ha (őszi búza),  $N=60$  kg/ha,  $P_2O_5=45$  kg/ha,  $K_2O=45$  kg/ha (kukorica), valamint az alapdózis 2, 3, 4-szeres mennyisége;
- a műtrágyák közül a foszfor és kálium mennyiségének 100%-át, a nitrogénnek 50%-át ősssel juttattuk ki. A maradék 50% nitrogént koratavasszal fejtrágyaként, illetve magágykészítés előtt alkalmaztuk;
- vízellátás

három eltérő vízellátottsági változat szerepel a tartamkísérletben:

- öntözés nélkül,
- féladagú öntözés (a vízhiány 50%-át pótoljuk öntözéssel),
- teljes adagú öntözés (a vízhiány 100%-át pótoljuk öntözéssel);
- növényvédelem (búza), tőszám (kukorica).

A tartamkísérletben búzánál három eltérő intenzitású növényvédelmi modellt alkalmaztunk, amelyek a fungicid használatban térnek el egymástól. Valamennyi növényvédelmi változatban egységes gyomirtást végeztünk minden évben, valamint az inszekticides védelem (évjárattól függően, ha szükséges) is azonos. A kukorica vetésforgóban három eltérő állománysűrűség (60 ezer/ha, 72,5 ezer/ha, 85 ezer/ha) hatását vizsgáltuk.

A másik tartamkísérletben az őszi búza fajták és kukorica hibridek tápanyagreakcióját vizsgáljuk eltérő tápanyagellátottsági szinteken. A kísérlet split-splitplot elrendezésű négy ismétléssel. A tartamkísérletben hat tápanyagszintet alkalmaztunk. A kontroll (műtrágyázás nélkül) mellett az alap műtrágya adag ( $N=30$ ,  $P_2O_5=22,5$ ,  $K_2O=26,5$  kg/ha) két-, három-, négy- és ötszörös mennyiségét juttattuk ki. A nitrogén műtrágya 50%-a ősssel, 50%-a tavasszal, a foszfor és kálium műtrágyák teljes mennyisége (100%) pedig ősssel került kiszórásra.

Évente 15–20 őszi búza fajta, illetve kukorica hibrid többéves tesztelését végeztük el a tartamkísérletben.

### Eredmények

A szántóföldi növénytermesztési folyamatokban az agroökológiai, biológiai és agrotechnikai tényezők az esetek döntő hányadában nem egyenként, külön-külön fejtik ki hatásukat a növényállományok növekedésére, fejlődésére, valamint a termésképződési folyamatokra, hanem ezen tényezők között bonyolult, összetett kölcsönhatások működnek. Ezek a kölcsönhatások az interaktív folyamatokban résztvevő tényezők hatását felerősíthetik, illetve gyengíthetik. Különösen fontosak ezek a kölcsönhatások a nagyobb termésszinteket megcélzó, intenzív növénytermesztési modellekben. A tartamkísérletek kivételes jelentőségét – más szempontok mellett – az adja, hogy egzakt módon tudjuk ezeket a tényezők közötti kölcsönhatásokat tanulmányozni.

Csernozjom talajon beállított tartamkísérletben vizsgáltuk az őszi búza és a kukoricatermesztés ökológiai (évjárat) és agrotechnikai elemeinek (trágyázás, vetésváltás) kölcsönhatását kifejezetten hosszú időintervallumban (1986–2019 évek). A két gabonanövény esetében – a fotoszintetikus és növényfiziológiai tulajdonságaik különbözősége miatt – eltérő kölcsönhatásokat lehetett megállapítani az évjárat és az agrotechnikai elemek vonatkozásában. Az őszi búza esetében (3. táblázat) az átlagos időjárású évjárat (a vizsgálati időintervallumban előfordulási gyakorisága 59%) adta a legnagyobb termést (bikultúrában 8041 kg/ha, trikultúrában 8617 kg/ha), valamint a legnagyobb műtrágyázási terméstöbbletet is (5550 kg/ha, illetve 2994 kg/ha). Ennél mind a száraz (26%-os gyakoriság), mind a csapadékos (15%-os gyakoriság) évjáratokban a kapott termésmaximumok és trágyázási terméstöbbletek kisebbek voltak. A búza relatíve jobb szárazságtűrését bizonyítja, hogy aszályos évjáratban kisebb volt a terméseszkökenés mértéke (különösen trikultúra vetésváltásban, a termésmaximum az évek átlagában 7279 kg/ha), mint a csapadékos évjáratban kapott termésdepresszió mértéke (az igen jelentős megdőlés és a betegségek miatt).

Ugyanezen időszakban (1986–2019 évek) vizsgáltuk az évjárat, vetésváltás és trágyázás kölcsönhatásait kukorica tartamkísérletben (4. táblázat). A búzával ellentétben a kukorica a vízellátással szembeni sokkal nagyobb szenzibilitását bizonyították a kísérleti eredmények. Az optimális NPK trágyázás mellett

a száraz évjáratok (35%-os előfordulási gyakoriság a vizsgálati években) adták a legkisebb termést (monokultúrában 5058 kg/ha, bikultúrában 8203 kg/ha, trikultúrában 7599 kg/ha). A vízellátási feltételek javulásával nőtt a kukorica termése a tartamkísérletünkben. Átlagos időjárású évjáratban (47%-os előfordulási gyakoriság) a terméseredmények az egyes vetésváltási változatokban 10 628 kg/ha, 12 234 kg/ha, illetve 11 673 kg/ha voltak. A még kedvezőbb vízellátású csapadékos években (18%-os előfordulási gyakoriság) tovább nőtt a termés és optimális NPK ellátás mellett eltűntek az egyes vetésváltási rendszerek közötti különbségek: monokultúrában 13 014 kg/ha, bikultúrában 12 599 kg/ha, trikultúrában 12 795 kg/ha termésmaximumok.

3. táblázat. *Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása az őszi búza termésére és terméstöbbletére*  
(Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2019)

Műtrágya kezelés (1)	Termés (kg/ha)					
	(2)					
	Aszályos évjárat (9 év, 26%) (3)		Átlagos évjárat (20 év, 59%) (4)		Csapadékos évjárat (5 év, 15%) (5)	
	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)
	Bikultúra (kukorica) (10)					
Kontroll (8)	1892	3698	2491	5550	3162	2257
N <sub>opt</sub> +PK (9)	5590		8041		5419	
	Trikultúra (borsó) (11)					
Kontroll (8)	4426	2853	5623	2994	4885	1305
N <sub>opt</sub> +PK (9)	7279		8617		6190	

Megjegyzés: SzD<sub>5%</sub> 794 kg/ha

*Table 3.* The effect of crop rotation, crop year and fertilisation on the yield and yield surplus of winter wheat (Debrecen, chernozem soil, non-irrigated, 1986–2019). (1) Fertiliser treatment, (2) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) Drought years (9 years, 26%), (4) Average crop years (20 years, 59%), (5) Wet crop years (5 years, 15%), (6) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (7) Yield surplus (kg ha<sup>-1</sup>), (8) Control, (9) N<sub>opt</sub>+PK fertiliser dose, (10) Biculture (maize), (11) Biculture (pea), Note: LSD<sub>5%</sub> 794 kg ha<sup>-1</sup>



4. táblázat. *Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása a kukorica termésére és terméstöbbletére (Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2019)*

Műtrágya kezelés (1)	Termés (kg/ha) (2)					
	Aszályos évjárat (12 év, 35%) (3)		Átlagos évjárat (16 év, 47%) (4)		Csapadékos évjárat (6 év, 18%) (5)	
	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)	Termés (kg/ha) (6)	Termés- többlet (kg/ha) (7)
	Monokultúra (10)					
Kontroll (8)	3743	1315	6284	4344	7538	5476
N <sub>opt</sub> +PK (9)	5058		10628		13014	
	Bikultúra (11)					
Kontroll (8)	7279	924	9439	2795	10209	2390
N <sub>opt</sub> +PK (9)	8203		12234		12599	
	Trikultúra (12)					
Kontroll (8)	6708	891	9682	1991	10221	2574
N <sub>opt</sub> +PK (9)	7599		11673		12795	

Megjegyzés: SzD<sub>5%</sub> 973 kg/ha

*Table 4.* The effect of crop rotation, crop year and fertilisation on the yield and yield surplus of maize (Debrecen, chernozem soil, non-irrigated, 1986–2019). (1) Fertiliser treatment, (2) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) Drought years (12 years, 35%), (4) Average crop years (16 years, 47%), (5) Wet crop years (6 years, 18%), (6) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (7) Yield surplus (kg ha<sup>-1</sup>), (8) Control, (9) N<sub>opt</sub>+PK fertiliser dose, (10) Monoculture, (11) Biculture, (13) Triculture, Note: LSD<sub>5%</sub> 973 kg ha<sup>-1</sup>

Szoros kölcsönhatás nem csak az ökológiai tényezők (évjárat) és az agrotechnikai elemek (trágyázás, vetésváltás) között állapítható meg a búza és kukorica tartamkísérleti eredmények alapján. Vizsgálataink azt bizonyították, hogy a biológiai alapok (fajta, hibrid) és az agrotechnikai elemek (pl. trágyázás) között is ezek az interaktív hatások kimutathatók. Az őszi búza esetében (5. táblázat) azt lehetett bizonyítani, hogy a régebbi genotípushoz képest az újabb búza fajták kedvezőbb természetes tápanyag-hasznosítással, magasabb termésmaximummal és jobb műtrágyázási terméstöbblettel voltak jellemezhetőek. Rend-

kívül érdekes volt ugyanakkor az is, hogy a genetikai előrehaladás mellett javult az újabb búza fajták műtrágya hasznosítása, így a nagyobb terméshez kisebb  $N_{opt}+PK$  adag alkalmazása kellett.

5. táblázat. *Genetikai haladás a búzafajták tápanyag-hasznosításában (Debrecen, csernozjom talaj, 2017–2019)*

Paraméter (1)	Termés (kg/ha) (2)		Terméskülönbség (kg/ha) (3)
	Régi fajta* (4)	Új fajták átlaga** (5)	
Természetes tápanyag- hasznosítás (kontroll) (6)	3988	5329	+1341
Maximális termés (7)	6416	7881	+1465
Mtr. terméstöbblete (8)	2428	2552	+124
$N_{opt}+PK$ (9)	140	116	-24

Megjegyzés: \*régí fajta: GK Öthalom, \*\*új fajták: Mv Ispán, Ingenio, Falado, Mv Kepe, Mv Nemere  
*Table 5.* Genetic development in the nutrient use efficiency of different winter wheat varieties (Debrecen, chernozem soil, 2017–2019). (1) Parameters, (2) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (3) Yield difference (kg ha<sup>-1</sup>), (4) Old varieties\*, (5) Average of new varieties \*\*, (6) Natural nutrient use efficiency (control), (7) Maximum yield, (8) Yield surplus resulting from fertilisation, (9)  $N_{opt}+PK$  fertiliser dose, Note: \*old variety: GK Öthalom, \*\*new varieties: Mv Ispán, Ingenio, Falado, Mv Kepe, Mv Nemere

A kukorica hibridekkel végzett tartamkísérletek eredményei tendenciájában hasonlóak voltak az őszi búza kísérletek eredményeihez (6. táblázat). A régebbi kukorica genotípus természetes tápanyag-hasznosításához (a kontroll kezelésben három év átlagában 10 359 kg/ha) képest az újabb genotípus kedvezőbb eredményt mutatott (12 208 kg/ha). Az  $N_{opt}+PK$  kezelésben elért maximális termésszint a régebbi hibridnél 14 468 kg/ha, az újabb hibridnél pedig 16 054 kg/ha volt a vizsgálati évek átlagában. A kukorica esetében is a nagyobb termésszintet az újabb hibrid kisebb műtrágya adaggal ( $N_{100}+PK$ ) érte el a régebbi hibriddel ( $N_{120}+PK$ ) összehasonlítva.

A tartamkísérletek az ökológiai és biológiai tényezők mellett lehetőséget nyújtanak arra is, hogy az agrotechnikai tényezők közötti belső kölcsönhatásokat is egzakt módon meghatározzuk mind a búzánál, mind a kukoricánál. A trágyázás és növényvédelem interaktív vizsgálata azt bizonyította, hogy hiányos tápanyagellátás (kontroll kezelés) esetén a növényvédelem intenzitása-

nak növelése (extenzív→átlagos→intenzív) csak nagyon korlátozott termés-többletet (bikultúrában 283 kg/ha, trikultúrában 423 kg/ha) eredményezett az állományok mérsékelt infekciója miatt (7. táblázat). A műtrágya adagok növe-  
lése jelentős mértékben növelte a levél-, szár- és kalászbetegségek mértékét. Az optimális műtrágyakezelésnél ( $N_{opt}+PK$ ) ennek megfelelően a növényvédelmi technológiai szint intenzitásának növelése igen jelentős termés-többletet eredményezett (bikultúrában 2188 kg/ha, trikultúrában 1386 kg/ha).

6. táblázat. *Kukorica genotípusok tápanyag-reakciója*  
(Debrecen, csernozjom talaj, 2012–2014)

Műtrágya kezelés (1)	Régebbi genotípus PR37M81 (kg/ha) (2)		Újabb genotípus SY Afinity (kg/ha) (3)	
	Termés (kg/ha) (4)	Terméstöbblet (kg/ha) (5)	Termés (kg/ha) (4)	Terméstöbblet (kg/ha) (5)
	2012. év (7)			
∅	10 012		10 768	
$N_{opt}+PK$ (6)	13 402 (N=90)	+3390	14 972 (N=90)	+4204
2013. év (8)				
∅	10 630		14 550	
$N_{opt}+PK$ (6)	16 754 (N=150)	+6124	18 619 (N=120)	+4069
2014. év (9)				
∅	10 434		11 355	
$N_{opt}+PK$ (6)	13 247 (N=120)	+2813	14 571 (N=90)	+316
2012–2014 átlaga (10)				
∅	10 359		12 208	
$N_{opt}+PK$ (6)	14 468 (N=120)	+4109	16 054 (N=100)	+3846

Megjegyzés:  $SzD_{5\%}$  906 kg/ha

Table 6. Nutrient response of different maize genotypes (Debrecen, chernozem soil, 2012–2014). (1) Fertiliser treatment, (2) Older genotype PR37M81 ( $kg\ ha^{-1}$ ), (3) New genotype SY Afinity ( $kg\ ha^{-1}$ ), (4) Yield ( $kg\ ha^{-1}$ ), (5) Yield surplus ( $kg\ ha^{-1}$ ), (6)  $N_{opt}+PK$  fertiliser dose, (7) 2012, (8) 2013, (9) 2014, (10) Average, Note:  $LSD_{5\%}$  906  $kg\ ha^{-1}$

A kukorica tartamkísérletben az állománysűrűség és a trágyázás között mutattunk ki kölcsönhatást (8. táblázat). Hiányos tápanyagellátás esetén (kont-

roll kezelés) a mono-, bi- és trikultúra vetésváltásokban a mérsékelt tőszámnál (60 ezer/ha) adták az állományok legnagyobb termést (8770 kg/ha, 11 885 kg/ha, 12 750 kg/ha). Az optimális trágya adagok alkalmazása esetén megteremtődtek azok a feltételek, amelyek több növényegyed tápanyagellátását biztosították és egyúttal jelentős mértékben növelték a kukorica termését is. Az  $N_{opt}+PK$  kezelésben monokultúrában 72,5 ezer/ha, bi- és trikultúrában pedig a 85 ezer/ha tőszám bizonyult optimálisnak, mely tőszámoknál 14 082 kg/ha, 15 878 kg/ha és 16 369 kg/ha termésmaximumokat értünk el.

7. táblázat. A vetésváltás, trágyázás és növényvédelem hatása az őszi búza termésére (nem öntözött, GK Csillag) (Debrecen, csernozjom talaj, 2016)

Műtrágya kezelés (1)	Növény- védelmi technológia (2)	Bikultúra (3)		Trikultúra (4)		
		Termés (kg/ha)/terméstöbblet (kg/ha) (5)				
∅	Extenzív (6)	2519	↓	7016	↓	
	Átlagos (7)	2612		+283		7251
	Intenzív (8)	2802		7439		+423
Átlag (9)		2644		7235		
$N_{opt}+PK$ (10)	Extenzív (6)	7119 (150)	↓	8286 (50)	↓	
	Átlagos (7)	8617 (150)		+2188		8871 (100)
	Intenzív (8)	9307 (150)		9672 (100)		+1386
Átlag (9)		8348		8943		

Megjegyzés:  $SzD_{5\%}$  488 kg/ha

Table 7. The effect of crop rotation, fertilisation and crop protection on the yield of winter wheat (non-irrigated, GK Csillag (Debrecen, chernozem soil, 2016). (1) Fertiliser treatment, (2) Crop protection technology, (3) Biculture, (4) Triculture, (5) Yield ( $kg\ ha^{-1}$ )/Yield surplus ( $kg\ ha^{-1}$ ), (6) Extensive, (7) Average, (8) Intensive, (9) Average, (10)  $N_{opt}+PK$  fertiliser dose, Note:  $LSD_{5\%}$  488  $kg\ ha^{-1}$

8. táblázat. *A vetésváltás, trágyázás és tőszám interaktív hatása a kukorica termésére (nem öntözött, P9175 hibrid) (Debrecen, csernozjom talaj, 2016)*

Műtrágya kezelés (1)	Tőszám (ezer/ha) (2)	Monokultúra (3)	Bikultúra (4)	Trikultúra (5)
Termés (kg/ha) (N <sub>opt</sub> ) (6)				
∅	60	8770	11 885	12 750
	72,5	8736	11 662	12 082
	85	7679	11 704	11 963
Átlag (7)		8295	11 750	11 932
N <sub>opt</sub> +PK (8)	60	13 363 (180)	14 849 (120)	15 184 (120)
	72,5	14 082 (180)	15 280 (120)	16 070 (120)
	85	13 809 (180)	15 878 (120)	16 369 (120)
Átlag (7)		13 751 (180)	15 336 (120)	15 874 (120)

Megjegyzés: SzD<sub>5%</sub> 764 kg/ha

Table 8. The interactive effect of crop rotation, fertilisation and crop density on maize yield (non-irrigated, P9175 hybrid) (Debrecen, chernozem soil, 2016). (1) Fertiliser treatment, (2) Crop density (thousand crops per ha), (3) Monoculture, (4) Biculture, (5) Triculture, (6) Yield (kg ha<sup>-1</sup>) (N<sub>opt</sub>), (7) Average, (8) N<sub>opt</sub>+PK fertiliser dose, Note: LSD<sub>5%</sub> 764 kg ha<sup>-1</sup>

### Következtetések

Az 1983-ban beállított tartamkísérletek adatai azt bizonyították, hogy az évjárat és az agrotechnikai elemek között erős kölcsönhatás tapasztalható. Ezt elsősorban az évjárat vízellátottsága határozta meg. Mind a búza, mind a kukorica esetében a trágyázás hatékonyságát, termésmenvelő hatását az évjárat vízellátottsága befolyásolta.

A búza átlagos időjárású évjáratban adta a legnagyobb termést (bikultúrában 8041 kg/ha, trikultúrában 8617 kg/ha az N<sub>opt</sub>+PK kezelésben). A kukorica vízellátással szembeni nagyobb szenzibilitását bizonyította az, hogy az eltérő vetésváltásban, optimális NPK trágyázás esetén a csapadékos évjáratban adta a legnagyobb termést (monokultúra 13 014 kg/ha, bikultúra 12 599 kg/ha, trikultúra 12 795 kg/ha). A tartamkísérleteinkkel megegyezően az évjárat-trágyázás kölcsönhatását állapította meg *Csajbók et al.* (2003), *Hornok és Pepó* (2007), *Kovacevic* (2005), *Berzsenyi et al.* (2011), valamint *Kutasy és Csajbók* (2001) is. A biológiai alapok és az agrotechnikai elemek (pl. trágyázás) között

is összetett kölcsönhatások állapíthatók meg. *Carlone és Russel (1987), Nagy (1989), Sárvári (1995)* kísérleteiben a kukorica hibridek specifikus reakcióját bizonyították a trágyázás esetében. Tartamkísérleteink eredményei szerint az újabb őszi búza és kukorica genotípusok természetes tápanyag-hasznosító képessége (búzánál +1341 kg/ha, kukoricánál +1849 kg/ha), maximális termése (+1465 kg/ha, illetve +1586 kg/ha) kedvezőbb volt a régebbi genotípusoknál, miközben a nagyobb termést kisebb  $N_{opt}+PK$  műtrágya adaggal (búzánál  $N=24$  kg/ha, kukoricánál  $N=20$  kg/ha) tudták realizálni. A kísérleteink eredményei – megegyezően *Russel (1991), Nagy (1996), Hoshang (2012)* vizsgálataival – azt bizonyították, hogy a kukorica agrotechnikai elemei (trágyázás  $\times$  tőszám) között szoros kölcsönhatás állapítható meg. Hiányos tápanyagellátás (kontroll) esetén mono-, bi- és trikultúra vetésváltásban a 60 ezer/ha állománysűrűség bizonyult optimálisnak (8770 kg/ha, 11 885 kg/ha, 12 750 kg/ha termésmaximumok), ugyanakkor az  $N_{opt}+PK$  kezelésben a lényegesen nagyobb terméseket (13 363 kg/ha, 14 849 kg/ha, 15 184 kg/ha) nagyobb állománysűrűség (72,5–85 ezer/ha) mellett kaptuk. A búza hiányos tápanyagellátása (kontroll) esetén a növényvédelem intenzitásának növelése mérsékelt terméstöbbletet (bikultúra +283 kg/ha, trikultúra +423 kg/ha) eredményezett. A trágyázás  $\times$  növényvédelem kölcsönhatását jól mutatja, hogy az  $N_{opt}+PK$  kezelésben az intenzív növényvédelem terméstöbblete +2188 kg/ha (bikultúra) és +1386 kg/ha (trikultúra) volt.

### Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a GINOP-2.2.1-15-2016-00021 számú projekt támogatta. A publikáció elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

### Irodalom

- Árendás T.*: 2006. Növénytáplálás új szemlélettel. Gyakorlati Agroforum. 17. 12: 8–10.  
*Berzsenyi Z.–Lap D. Q.*: 2005. Műtrágyázás  $\times$  növényszám interakció hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 54. 1–2: 35–53.

- Berzsenyi Z.*: 1993. Növekedésanalízis a kukoricatermesztési kutatásokban. MTA akadémiai doktori értekezés. Martonvásár.
- Berzsenyi, Z.–Arendas, T.–Bonis, P.–Micskei, G.–Sugár, E.*: 2011. Long-term effect of crop production factors on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different years. *Acta Agronomica Hungarica*. 59. 3: 191–200.
- Bocz E.–Pepó P.–Pepó P.*: 1983. A víz- és tápanyag szerepe a termésminőségben. Őszi búza. *Magyar Mezőgazdaság*. 38. 41: 8.
- Bocz E.–Pepó P.*: 1985. Az őszi búza fajták trágyareakciójának vizsgálata csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 34. 6: 481–493.
- Carlone, M. R.–Russel, W. A.*: 1987. Response to plant densities and N levels for four maize cultivars from different ears of breeding. *Crop Science*. 27: 465–470.
- Csajbók, J.–Kutasy, E.–Borbélyné H. É.*: 2003. The yield stability of maize and winter wheat in a long term experiment. The environment resources and sustainable development: International Scientific Session Oradea. Romania. 43.
- D'Haene, K.–Magyar, M.–De Neve, A.–Pálmai, O.–Nagy, J.–Németh, T.–Hofman, G.*: 2007. Nitrogen and phosphorus balances of Hungarian farms. *European Journal of Agronomy*. 3: 224–234.
- Gozübenli, H.–Klinic, M.–Sener, O.–Konuskan, O.*: 2004. Effects of single and twin row planting on yield and yield components in maize. *Asian Journal of Plant Sciences*. 3. 2: 203–206.
- Győrffy B.*: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35: 239–266.
- Győrffy B.–Berzsenyi Z.*: 1992. Martonvásári vetésforgó kísérlet 30 éves termésadatának összesítése 1961–1990. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei. 16.
- Hornok M.–Pepó P.*: 2007. Az őszi búza terméseredményeinek értékelése bikultúra és trikultúra vetésváltásban, hajdúsági csernozjom talajon. *Növénytermelés*, 56. 5–6: 333–344.
- Hoshang R.*: 2012. Effect of plant density and nitrogen rates on morphological characteristic grain maize. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*. 2. 5: 4680–4683.
- Izsáki, Z.*: 2007. N and P impact on the yield of maize in a long-term trial. *Cereal Res. Commun.* 35. 4: 1701–1711.
- Jolánkai M.*: 1982. Őszi búzafajták tápanyag- és vízhasznosítása. PhD thesis. Martonvásár.
- Kovacevic, V.*: 2005. Wheat yield variations among the years in the Eastern Croatia. *Proceedings of the XI. Croatian Symposium on Agriculture with International Participation*. 15–18 February 2005. Opatija Croatia. 453–454.
- Körschens, M.*: 2006. The importance of long-term experiments for soil science and environmental research – a review. *Plant Soil Environ.* 52: 1–8.

- Kurowski, T. P.–Adamiak, E.*: 2007. Occurrence of stem base diseases of four cereal species grown in longterm monocultures. Polish Journal of Natural Sciences. 22. 4: 574–583.
- Kutasy E.–Csajbók J.*: 2001. Őszi búzafajták termésstabilitásának vizsgálata. Acta Agraria Debreceniensis. 2: 61–66.
- Nagy J.*: 1996. Effects of tillage, fertilization, plant density and irrigation on maize (*Zea mays* L.) yields. Acta Agronomica Hungarica. 196. 2–3: 189–202.
- Nagy J.*: 1989. A műtrágyázás és az öntözés hatása a kukoricahibridek termésére. DATE Tudományos Közlemények. 28: 437–452.
- Nagy J.*: 2005. 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában. [In: Nagy J. (szerk.) Kukoricakonzorcium – Kukorica hibridek adaptációs képessége és termésbiztonsága.] Debrecen. 8–53.
- Pepó P.*: 2000a. A minőségi búzatermesztés genetikai alapjai. VI. Növénynevelési Tudományos Napok. 27.
- Pepó P.*: 2000b. Integrált védekezés őszi búzában. Magyar Mezőgazdaság. 55. 17: 14–16.
- Pepó P.*: 2001. A genotípus és a vetésváltás szerepe a kukorica tápanyagellátásában csernozjom talajon. Növénytermelés. 50. 2–3: 189–202.
- Pepó P.*: 2006. Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. Gyakorlati Agrofórum Extra. 13: 11–17.
- Pepó, P.–Vad, A.–Berényi, S.*: 2006. Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. Cereal Res. Commun. V. Alps-Adria Workshop. Opatija Croatia. 34. 1: 1253–1256.
- Pepó, P.*: 2007. Role of fertilization and genotype in sustainable winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. Cereal Res. Commun. 35. 2: 917–920.
- Pepó P.*: 2009. A kukorica (*Zea mays* L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. Növénytermelés. 58. 3–4: 53–66.
- Pepó P.*: 2009. Az elővetemény és a tápanyagok hatása az őszi búza termésére. Agrofórum. 20. 9: 14–16.
- Pepó P.–Csajbók J.*: 2014. Az agrotechnikai elemek szerepe az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termesztésben. Növénytermelés. 63. 3: 73–94.
- Pepó, P.–Murányi, E.*: 2014. Plant density impact on grain yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids on chernozem soil of the Eastern Hungary. Columella – Journal of Agricultural and Environmental Sciences. 1. 2: 95–100.
- Pepó P.–Vad A.*: 2017. Hibridspecifikus trágyázás jelentősége a kukorica termesztésben. Agrárium. 11–12.
- Russel, W. A.*: 1991. Genetic improvement of maize yields. Adv. Agron. 46: 245–298.
- Ruzsányi L.*: 1991. A növények elővetemény-hatásának értékelése vízháztartási szempontból. Növénytermelés. 40: 71–77.
- Ruzsányi L.–Csajbók J.*: 2001. Termésstabilitás és az évjárat kölcsönhatása a fontosabb szántóföldi növényeinknél. Acta Agraria Debreceniensis. 2: 41–46.



- Sárvári M.*: 1984. Különböző kukorica hibridek tápanyag-reakciója réti talajon. *Növénytermelés*. 33. 6: 549–558.
- Sárvári M.*: 1995. A tőszám szerepe a fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiában. *Növénytermelés*. 44. 3: 261–270.
- Széll E.*–*Búza L.-né*–*Győri Z.*: 2010. Négy különböző talajtípuson végzett kukorica műtrágyázási kísérletek eredményei. *Növénytermelés*. 59. 4: 41–61.
- Vad, A.*–*Zsombik, L.*–*Szabó, A.*–*Pepó, P.*: 2007. Critical crop management factors in sustainable maize (*Zea mays* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 1253–1256.
- Vári E.*–*Pepó P.*: 2011. Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica agronómiai tulajdonságaira tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 60. 4: 115–130.
- Widicombe, D. W.*–*Thelen, D. K.*: 2002. Row with and plant density effects on corn grain production in the Northern Corn Belt. *Agronomy Journal*. 94: 1020–1023.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

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



## Különböző forrásból származó adatok összefüggéseinek vizsgálata üzemi fajtakísérletben

<sup>1</sup>RAGÁN PÉTER – <sup>2</sup>SULYOK DÉNES ZSOLT – <sup>1</sup>CSATÁRI NÁNDOR –

<sup>1</sup>VÁNTUS ANDRÁS – <sup>1</sup>HAGYMÁSSY ZOLTÁN – <sup>1</sup>NAGY JÁNOS –

<sup>3</sup>HARSÁNYI ENDRE – <sup>1</sup>RÁTONYI TAMÁS

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

<sup>2</sup>KITE Zrt., Nádudvar

<sup>3</sup>NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő

### Összefoglalás

A kedvezőtlen talajtulajdonságok és szélsőséges időjárási tényezők együtt negatívan befolyásolják a gazdasági növények hozamát. A talaj- és növény vizsgálatok feltétlenül szükségesek a helyspecifikus gazdálkodáshoz, azonban a hagyományos, rácson alapuló talajmintavétel nehézkes és költséges. Napjainkban, a precíziós mezőgazdaságban egyre elterjedtebb a műhold alapú felvételtől, valamilyen vegetációs index felhasználásával készült termőképességi zónatérkép használata. Vizsgálatainkat üzemi kukorica kísérletben, egy 56,3 hektáros táblán végeztük, Hajdú-Bihar megyében. A táblán Veris U3 típusú talajszkennerrel talajvizsgálatot folytattunk 2018-ban, majd a tábla árkos belvív elvezetése után 2019-ben. Vizsgálataink során 2019-ben két alkalommal NGB kamerával szerelt DJI Phantom 4 Agro típusú drónnal is felvételeztük a táblát. 2019-ben az elérhető felhő- és zavaró tényezőtől mentes, 23 darab Sentinel 2 műholdfelvételtől készítettünk NDVI, GNDVI és bNDVI képeket. A Quantum GIS szoftver segítségével a Veris U3 pontszerű vektor adataiból, valamint az UAV és Sentinel 2 rasteres adatokból 10×10 méter térbeli felbontású vektoros térinformatikai, majd ebből numerikus adatbázist készítettünk. Célunk a kontakt talajvizsgálati és távérzékelte adatok, valamint a kukorica hozamának összefüggés-vizsgálata volt. A 2019-ben mért  $EC_a$  és a három Sentinel 2 alapú vegetációs index együttesen közepesen erős ( $r=0,6$ ) kap-

csolatot mutatott a kukorica hozamával. A két UAV repülés bNDVI adataival kiegészítve a Veris, valamint a Sentinel 2 adatokat, ezek összefüggése a terméssel szoros ( $r=0,79$ ) volt. Figyelembe véve az UAV alapú GNDVI eloszlást, a szintén UAV alapú bNDVI, a Sentinel 2 alapú éves bNDVI, GNDVI, és NDVI átlagokat,  $EC_a$ , IR/R és pH eloszlást, ezek összefüggése a kukorica termésével szoros ( $r=0,86$ ) és szignifikáns volt. A talajszenker, valamint a távérzékelt adatok 74,6%-ban függtek össze a kukorica hozamával. Elemzéseink alapján megállapítható, hogy sem az  $EC_a$ , sem pedig az egy éves távérzékelt adatok önmagukban nem adnak elegendő információt a tábla-heterogenitással kapcsolatban.

**Kulcsszavak:** Veris U3 adatok, UAV és Sentinel 2 alapú vegetációs indexek, komplex térinformatikai adatbázis, lineáris és multilineáris regresszió

## Correlation analysis of data of various origin in a field variety experiment

<sup>1</sup>P. RAGÁN – <sup>2</sup>D. ZS. SULYOK – <sup>1</sup>N. CSATÁRI – <sup>1</sup>A. VÁNTUS – <sup>1</sup>Z. HAGYMÁSSY –  
<sup>1</sup>J. NAGY – <sup>3</sup>E. HARSÁNYI – <sup>1</sup>T. RÁTONYI

<sup>1</sup>University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute for Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

<sup>2</sup>KITE Zrt., Nádudvar

<sup>3</sup>National Agricultural Research and Innovation Centre (NAIK), Gödöllő

### Summary

Unfavourable soil characteristics and extreme weather factors negatively affect the yield of farm crops. Soil and plant analyses are absolutely necessary for site-specific crop production, but traditional, grid-based soil sampling is difficult and expensive. Today, yield zone maps made from satellite images by using some kind of vegetation indexes are becoming increasingly widespread in precision agriculture. We performed our examinations in a field maize experiment on a 56.3 ha plot in Hajdú-Bihar county in Debrecen, Hungary. Soil analysis was performed with a Veris U3 soil scanner in 2018 and again in 2019, after the field was drained using trenches. During our analyses, the plot was mapped on two occasions also with a DJI Phantom 4 Agro UAV equipped

with an NGB camera. In 2019, NDVI, GNDVI and bNDVI images were made from 23 Sentinel 2 satellite images free from clouds or other disturbing factors. Using Quantum GIS, a 10×10 m spatial resolution vector GIS and then numerical database were prepared from the vector data of Veris U3 and the raster data of UAV and Sentinel 2. Our aim was to evaluate contact soil analysis and remotely sensed data, as well as to perform a correlation analysis on maize yield. The EC<sub>a</sub> obtained in 2019 and the three Sentinel 2-based vegetation indexes together showed a moderately strong (r=0.6) correlation with maize yield. The Veris and Sentinel data, supplemented with the bNDVI data of the two UAV flights, a strong correlation (r=0.79) was shown with yield. UAV-based GNDVI distribution, UAV-based bNDVI means, Sentinel 2-based yearly bNDVI, GNDVI and NDVI means, the EC<sub>a</sub>, IR/R and pH distribution had a strong and significant correlation (r=0.86) with maize yield. The soil scanner and the remotely sensed data showed a 74.6% correlation with maize yield. Based on the performed analyses, it can be concluded that neither EC<sub>a</sub>, nor the one-year-long remotely sensed data series alone provide enough information on plot heterogeneity.

**Key words:** Veris U3 data, UAV- and Sentinel 2-based vegetation indexes, complex GIS database, linear and multilinear regression

## **Исследование взаимосвязей данных, происходящих из разных источников, в производственном опыте сорта**

<sup>1</sup>П. РАГАН – <sup>2</sup>Д. Ж. ШУЙОК – <sup>1</sup>Н. ЧАТАРИ – <sup>1</sup>А. ВАНТУШ – <sup>1</sup>З. ХАДЬМАШИ –  
<sup>1</sup>Я. НАДЬ – <sup>3</sup>Э. ХАРШАНИ – <sup>1</sup>Т. РАТОНИ

<sup>1</sup>Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и  
Экологического Менеджмента, Дебрецен

<sup>3</sup>КИТЕ ЗАО, Надудвар

<sup>3</sup>NAIK Институт Сельскохозяйственной Механизации, Гёдёллё

### **Резюме**

Неблагоприятные свойства почвы и чрезвычайные погодные факторы вместе негативно влияют на урожай промышленных растений. Исследования почвы и растения безусловно необходимы для специфичного для места хозяйствования, однако тра-

диционное, основанное на сетке взятие образцов почвы трудно и дорого. В наши дни, в прецизионном сельском хозяйстве всё более распространяется применение карты зон плодородности, приготовленных с помощью снимков с искусственных спутников, с использованием вегетационного индекса. Наши исследования провели в промышленном опыте кукурузы, на участке площадью 56,3 га, в области Хайдубихар. На этом участке почвенным сканером типа «Veris U3» провели исследование почвы в 2018 году, затем после выведения с помощью каналов почвенных вод в 2019 году. В ходе наших исследований в 2019 году два раза сделали снимки участка оборудованным камерой NGB дроном типа «DJI Phantom 4 Agro». В 2019 году при по возможности безоблачной и без помех погоде, приготовили из 23 снимков искусственного спутника «Sentinel 2» снимки NDVI, GNDVI и bNDVI. С помощью софтвера «Quantum GIS» из данных точечного вектора «Veris U3», а также из растровых данных участка «UAV» и «Sentinel 2» приготовили размером 10×10 м объёмного разложения векторно геоинформатическую, затем из этого числовую базу данных. Нашей целью было исследование взаимосвязей данных контактного изучения почвы и дистанционного изучения, и урожаев кукурузы. Измеренные в 2019 году  $EC_a$  и три на основе вегетационного типа «Sentinel 2» индекса вместе в среднем показали сильную ( $r=0,6$ ) связь с урожаем кукурузы. Два «UAV» полета дополнено с данными «bNDVI» данными «Veris», и ещё «Sentinel 2», их взаимосвязь с урожаем была тесной ( $r=0,79$ ). Принимая во внимание на основе «UAV» распределение «GNDVI», а также на основе «UAV» «bNDVI», на основе «Sentinel 2» годовой «bNDVI», «GNDVI», и средние «NDVI», распределение  $EC_a$ , IR/R и pH, их взаимосвязь с урожаем кукурузы была значительной и тесной ( $r=0,86$ ). Данные почвенного сканера, а ещё дистанционно полученные данные на 74,6% взимомозависели с урожаем кукурузы. На основании нашего анализа можно установить, что ни  $EC_a$ , ни годовые дистанционные данные сами по себе не дают достаточно информации в связи с гетерогенностью участка.

**Ключевые слова:** данные «Veris U3», вегетационные индексы на основе UAV и «Sentinel 2», комплексная база данных геоинформатики, линейная и мульти-линейная регрессия

## Bevezetés

A kedvezőtlen talajtulajdonságok, a szélsőséges időjárási tényezők együtt negatívan befolyásolják a gazdasági növények hozamát (De Benedetto et al.

2013). *Huang et al.* (2017) szerint az  $EC_a$  növekedése csökkentette a hozamokat azonos pH mellett, függetlenül a nitrogénszintektől. *Kravchenko és Bullock* (2002) szerint a gazdasági növények termését befolyásoló változók térbeli kiterjedése a mikro domborzattól a tábla vagy vízgyűjtő méretig változhat. A talaj- és növényvizsgálatok végzése feltétlenül szükséges a helyspecifikus gazdálkodáshoz, azonban a hagyományos, rácson alapuló talajmintavétel nehézkes és költséges (*Rudolph et al.* 2014). *Corwin és Lesch* (2005) eredményei igazolták, hogy alacsony sótartalmú, azaz nem szikes talajok esetében az elektromos vezetőképesség mérése felbecsülhetetlen adatokat szolgáltat a talajok minőségének térbeli és időbeli változásáról, elsősorban a talaj nedvességállapotáról, szerkezetéről, és tömörödöttségének mértékéről. Napjainkban, a precíziós mezőgazdaságban egyre elterjedtebb a műhold alapú felvételtől, valamilyen vegetációs index felhasználásával készült termőképességi zónatérkép használata. Ezek felhasználásával egyrészt talajminta-vételi, illetve művelési zónákat különítenek el, másrészt differenciálhatók az inputanyagok. A távérzékelt adatok nélkülözhetetlen információt szolgáltathatnak a tábláról, illetve segíthetik a rendelkezésre álló talajadatok értelmezését (*McBratney et al.* 2003). Több kutató vizsgálta távérzékelt és talaj adatok kapcsolatát, illetve készített pontszerű adatokból térképet. *Odeh et al.* (1995) geostatistikai és hagyományos numerikus statisztikai módszereket hasonlított össze integrálva a talaj-felszínforma kapcsolatban, eredményük alapján a regressziós krigeálás általában a legjobb volt. Hasonlóan *Dobos et al.* (2000), *Hengl et al.* (2002) és *Hengl et al.* (2007) munkásságához, szintén felszínen mért talaj adatokat, valamint több időpontban mért műholdas felvételeket használunk fel a vizsgálatunkban.

## Anyag és módszer

### *A vizsgált terület, a vizsgált paraméterek és az adatbázis létrehozás módszere*

Vizsgálatainkat üzemi kukorica fajtakísérletben, egy 56,3 hektáros táblán végeztük, Hajdú-Bihar megyében. A fajtakísérletben DKC 4943 és Armagnac hibridet vetettek 65, 75 és 85 ezer/ha tőszámban. A kísérletben 0, 260 és 365 l/ha dózisu folyékony nitrogén műtrágyával végezték a tavaszi kultivátorozással egy menetben a fejtrágyázást. A táblán Veris U3 típusú talajszkennerrel végeztünk talajvizsgálatokat 2018-ban. A következő talajvizsgálat a tábla RTK 3D alkalmazásával történő árkos belvív elvezetése után 2019-ben történt. A térképe-

zés során vizsgáltuk a tábla kontaktelven mért elektromos vezetőképességét ( $EC_a$ ) 0–60 cm (0–2 ft/láb), valamint a talaj infravörös és vörös reflektancia értékeit 5 cm-es mélységben. A 2019-es kontakt talajvizsgálattal egy menetben, a térképezés során megjelenő nyers adatok alapján kirajzolódó talajfoltokból, öt talajmintát is vettünk a talaj felső 30 cm-es rétegéből, és ezek helyzetét RTK GPS segítségével rögzítettük (1. ábra). Az RTK-val pozícionált talajminták – labor által mért – szervesanyag-tartalmából, kationcsere kapacitásából, valamint pH adataiból, és a Veris által mért adatokból a Veris Fieldfusion online alkalmazásában elkészült a tábla szervesanyag (OM) térképe is.

1. ábra. A nyers  $EC_a$  adatok alapján meghatározott talajminta pontok

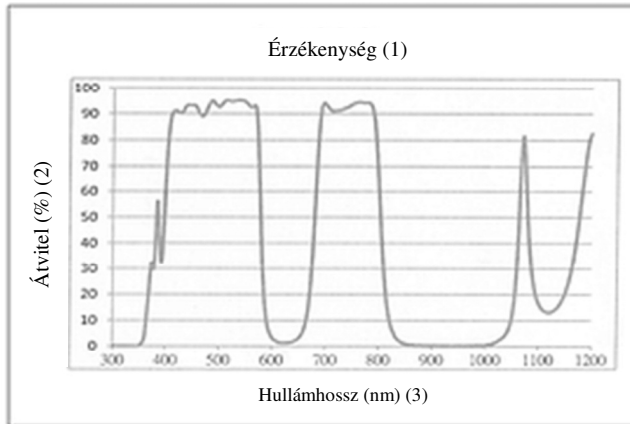


Figure 1. Soil sampling locations determined on the basis of raw  $EC_a$  data

Emellett 2018 tavaszán 149 pontban mértük a pH-t a táblán, amiből kriggeléses interpolációval (Wackernagel 1998, Hengel et al. 2007) raszter eloszlás térképet készítettünk Golden Software Surfer programmal. A vizsgálataink során 2019. június 21-én és július 19-én NGB (2. ábra) kamerával szerelt DJI Phantom 4 Agro típusú drónnal Pix4D mobilapplikációval irányítva is felvételztük a táblát 90 méter magasságban.



2. ábra. A DJI Phantom 4 Agro kamera érzékenysége



Forrás: agrocam.eu

Figure 2. Sensitivity of the DJI Phantom 4 Agro camera. (1) Sensitivity, (2) Transmission (%), Wavelength (nm), Source: agrocam.eu

A 3,94 cm/pixel térbeli felbontású felvételekből orthofotót készítettünk, amit amiből infra és zöld (green) alapú GNDVI, valamint infra és kék (blue) alapú bNDVI vegetációs indexet készítettünk. A módosított szűrő miatt a CMOS szenzor a vörös csatornán széles csatornán infra képet rögzít, a zöld és a kék csatornák változatlanok így a vegetációs indexek számítása a következő az UAV esetében:

$$\text{GNDVI} = (\text{NIR-Green})/(\text{NIR+Green}),$$

amely az UAV NGB felvételtől:  $(R1-G2)/(R1+G2)$

$$\text{bNDVI} = (\text{NIR-Blue})/(\text{NIR+Blue}),$$

amely az UAV NGB felvételtől:  $(R1-B3)/(R1+B3)$

Ezek mellett a 2019. március 21-től szeptember 22-ig elérhető felhő- és zavaró tényezőtől mentes, 23 darab 10×10 méteres térbeli felbontású Sentinel 2 műholdfelvételtől készítettünk NDVI, GNDVI és bNDVI képeket.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR-Red})/(\text{NIR+Red}),$$

ami Sentinel 2 esetében:  $(B8-B4)/(B8+B4)$

$GNDVI = (NIR-Green)/(NIR+Green)$ ,  
ami Sentinel 2 esetében:  $(B8-B3)/(B8+B3)$

$bNDVI = (NIR-Blue)/(NIR+Blue)$ ,  
ami Sentinel 2 esetében:  $(B8-B2)/(B8+B2)$

A kísérleti terület betakarítását, szemnedvesség mérését és hozam térképezését JD S770i típusú kombájn végezte, 8 soros adapterrel. A Quantum GIS szoftverrel a pontszerű vektor adatokból és az UAV, Sentinel 2 raszteres adatokból  $10 \times 10$  méter térbeli felbontású vektoros térinformatikai adatbázist készítettünk, ami 5871 poligont tartalmaz, és poligononként 100 mérési adatot. Ezt az adatbázist a numerikus statisztikához szükséges formátumra konvertáltuk. Kiszámítottuk a 2019-es tenyészév műhold alapú adatait felhasználva, a  $10 \times 10$  méteres zónákhoz tartozó idősoros átlagú NDVI, GNDVI és bNDVI értékeket (3. ábra).

3. ábra. A térinformatikai és numerikus statisztikai adatbázis létrehozásának módszere

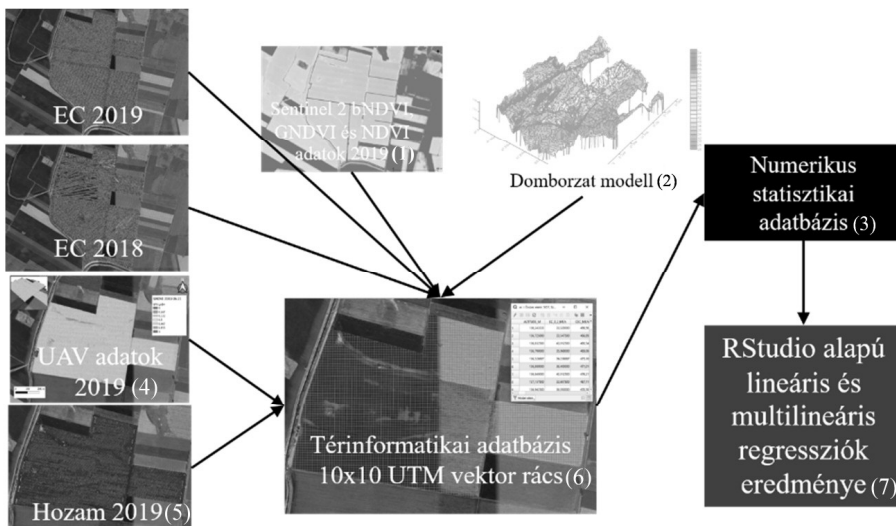


Figure 3. Method of creating a GIS and numerical statistics database. (1) Sentinel 2, bNDVI, GNDVI and NDVI data, 2019, (2) Terrain model, (3) Numerical statistics database, (4) UAV data, (5) Yield 2019, (6) GIS database  $10 \times 10$  UTM vector grid, (7) Results of RStudio-based linear and multilinear regressions

Az adatbázisba a vetéskori hibrid és tőszám, valamint a kultivátorozáskori fejtrágya térképet is integráltuk. A műtrágya, tőszám, valamint hibrid és termés összefüggését az üzemi kísérlet kialakítása, azaz az ismétlés hiánya miatt nincs lehetőség varianciaanalízissel vizsgálni.

### *Statisztikai elemzés*

A numerikus statisztikát R statisztikai program és RStudio grafikus felület segítségével készítettük. Lineáris és multilineáris regresszióval vizsgáltuk a kapcsolatot a különböző adatforrásokból származó adatok között.

A lineáris regresszió példakódja R statisztikai környezetben:

```
modell=with(adatbazis, lm(mért_tényező1~mért_tényező2))
summary(modell)
anova(modell)
```

A multilineáris regresszió példakódja R statisztikai környezetben:

```
modell=with(adatbazis, lm(mért_tényező1~mért_tényező2*
mért_tényező3))
summary(modell)
anova(modell)
```

A vizsgált paraméterek között Pearson féle korrelációt végeztünk, aminek a regresszió példakódja R statisztikai környezetben:

```
res <- rcorr(as.matrix(adatbazis), type=c("pearson"))
res
```

## **Eredmények**

### *Műtrágya, tőszám, hibrid és termés összefüggése*

A térinformatikai adatbázisból kinyert fejtrágya, tőszám, valamint hibrid kezelés kombinációk és a termés összefüggését is az üzemi kísérlet ismétlés hiánya miatt lineáris regresszióval vizsgáltuk a 10×10 méteres UTM gridből szűrt adatbázissal. Az Armagnac hibrid esetében a tőszám gyenge, de szignifikáns kapcsolatban volt a ( $r=0,219$ ), a fejtrágya pedig szignifikánsan igen gyenge ( $r=0,049$ ) kapcsolatban volt a terméssel. Az Armagnac hibridnél a tőszám és fejtrágya együttesen szignifikánsan gyenge ( $r=0,226$ ) kapcsolatban volt a ter-

méssel. A DKC4943 hibrid esetében a tőszám és a termés kapcsolata szignifikánsan gyenge ( $r=0,146$ ) volt, a termés és a fejtrágyázás kapcsolata pedig igen gyenge ( $r=0,025$ ) volt. Együttesen vizsgálva a tőszám és a fejtrágyázást ezek gyengén ( $r=0,156$ ) hatottak a kukorica termésére.

*A különböző adatforrásból származó vizsgált tényezők összefüggés-vizsgálata*

A vizsgált tényezők között Pearson féle korrelációt végeztünk, a kapott adatok alapján elmondható, hogy gyenge, illetve közepesen szoros kapcsolatot találtunk a tényezők között. Az IR/R 2019-es adatok közepesen szoros negatív összefüggést ( $r=-0,320$ ) állapítottunk meg a 2018-as pH-val, gyenge negatív összefüggést állapíthattunk meg az UAV alapú vegetációs indexek között ( $r=-0,100 - -0,180$ ), szintén hasonló negatív összefüggésben volt a műhold alapú vegetációs indexekkel ( $r = -0,100 - -0,180$ ). A magasságot vizsgálva közepesen szoros negatív összefüggés ( $r= -0,470$ ) állapítható meg mind 2018 mind 2019 évi az  $EC_a$  adatokkal ( $r=-0,460 - -0,470$ ). Az alacsonyabb magasságon összegyűlt csapadék emelte a talaj  $EC_a$  értékét. A magassággal a műhold alapú vegetációs indexek gyengén, illetve közepesen szoros összefüggést mutattak ( $r=0,230-0,440$ ), amelynek oka feltételezhetően a mélyebb részeken a 2019-es évben csapadékosabb periódusokban kialakuló pangóvizek okozta növényi stressz. A 2018-as és 2019-es  $EC_a$  adatok közötti igen szoros pozitív összefüggés ( $r=0,740$ ) jól mutatja a talajfoltok hatását erre a tényezőre eltérő nedvességállapot mellett is. A 2019-es  $EC_a$  adatok az UAV alapú vegetációs indexekkel gyengén, illetve közepesen szoros negatív kapcsolatot mutattak ( $r = -0,190 - -0,340$ ), ezzel szemben a Sentinel 2 alapú vegetációs indexekkel közepesen szoros negatív összefüggést állapítottunk meg ( $r= -0,500 - -0,610$ ). Ennek feltételezhető oka, az UAV széles infracsatornája (680–820 nm), a Sentinel 2 NIR csatornája pedig 785–899 nm-ig tart (842 nm), ezáltal az UAV széles csatornája magába foglalja a Sentinel 2 5-ös (698–713 nm), 6-os (733–748 nm) és 7-es (773–793 nm) vörös él csatornáját is (Cerasoli et al. 2018). A kukorica termésadatokat összehasonlítva a többi tényezővel a 2019-es  $EC_a$  értékekkel közepesen szoros negatív kapcsolatot mutatott ( $r=-0,380$ ), amelynek feltételezhető oka szintén a nagyobb csapadékokkor kialakuló kedvezőtlenebb talajnedvesség-viszonyok. A termés hasonlóan, mint az  $EC_a$  gyengébb kapcsolatokat mutatott az UAV alapú vegetációs indexekkel ( $r=0,370-0,470$ ), mint a Sentinel 2 alapú vegetációs indexekkel ( $r=0,520-0,550$ ), ennek az oka a két vizsgálati módszer közötti detektorkülönbség (1. táblázat).

1. táblázat. A vizsgált tényezők összefüggés-vizsgálata Pearson féle korreláció analízissel

Tényezők (1)		IR/R 2019	Magas- ság (m) (2)	EC <sub>a</sub> 2019 (mS/m)	UAV bNDVI 2019. 06.21.	UAV GNDVI 2019. 06.21.	UAV bNDVI 2019. 07.19.	UAV GNDVI 2019. 07.19.
IR/R 2019	r	1,000	-0,220	0,140	-0,120	-0,180	-0,100	-0,120
	p		0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EC <sub>a</sub> 2019 (mS/m)	r	0,140	-0,470	1,000	-0,270	-0,340	-0,190	-0,280
	p	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000	0,000
UAV bNDVI 2019.06.21.	r	-0,120	0,260	-0,270	1,000	0,760	0,300	0,180
	p	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000	0,000
UAV GNDVI 2019.06.21.	r	-0,180	0,250	-0,340	0,760	1,000	0,360	0,400
	p	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000	0,000
UAV bNDVI 2019.07.19.	r	-0,100	0,100	-0,190	0,300	0,360	1,000	0,780
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		0,000
UAV GNDVI 2019.07.19.	r	-0,120	0,080	-0,280	0,180	0,400	0,780	1,000
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
pH 2018	r	-0,320	-0,120	0,170	-0,080	-0,030	-0,010	-0,020
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,010	0,373	0,108
OM (%) 2019	r	-0,110	0,340	-0,660	0,250	0,290	0,140	0,190
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EC <sub>a</sub> 2018 (mS/m)	r	0,090	-0,460	0,740	-0,300	-0,330	-0,190	-0,220
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
bNDVI átlag 2019 (4)	r	-0,180	0,440	-0,580	0,500	0,550	0,210	0,250
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
GNDVI átlag 2019 (5)	r	-0,170	0,400	-0,610	0,510	0,590	0,250	0,290
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
NDVI átlag 2019 (6)	r	-0,100	0,230	-0,500	0,410	0,460	0,150	0,190
	p	0	0	0	0	0	0	0

Az 1. táblázat folytatása a következő oldalon...

... az 1. táblázat folytatása

Tényezők (1)		pH 2018	OM (%) 2019	IR/R 2018	EC <sub>a</sub> 2018 (mS/m)	Termés (t/ha) (3)	bNDVI átlag 2019 (4)	GNDVI átlag 2019 (5)	NDVI átlag 2019 (6)
IR/R 2019	r	-0,320	-0,110	0,050	0,090	-0,160	-0,180	-0,170	-0,100
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EC <sub>a</sub> 2019 (mS/m)	r	0,170	-0,660	0,010	0,740	-0,380	-0,580	-0,610	-0,500
	p	0,000	0,000	0,320	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UAV bNDVI 2019.06.21.	r	-0,080	0,250	0,130	-0,300	0,390	0,500	0,510	0,410
	p	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UAV GNDVI 2019.06.21.	r	-0,030	0,290	0,090	-0,330	0,470	0,550	0,590	0,460
	p	0,010	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UAV bNDVI 2019.07.19.	r	-0,010	0,140	0,120	-0,190	0,370	0,210	0,250	0,150
	p	0,373	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
UAV GNDVI 2019.07.19.	r	-0,020	0,190	0,020	-0,220	0,390	0,250	0,290	0,190
	p	0,108	0,000	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
pH 2018	r	1,000	-0,140	0,020	0,180	0,110	-0,020	-0,060	-0,010
	p		0,000	0,136	0,000	0,000	0,249	0,000	0,591
OM (%) 2019	r	-0,140	1,000	-0,050	-0,810	0,290	0,470	0,490	0,400
	p	0,000		0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
EC <sub>a</sub> 2018 (mS/m)	r	0,180	-0,810	-0,040	1,000	-0,340	-0,530	-0,560	-0,440
	p	0,000	0,000	0,003		0,000	0,000	0,000	0,000
bNDVI átlag 2019 (4)	r	-0,020	0,470	-0,030	-0,530	0,520	1,000	0,970	0,920
	p	0,249	0,000	0,035	0,000	0,000		0,000	0,000
GNDVI átlag 2019 (5)	r	-0,060	0,490	0,010	-0,560	0,550	0,970	1,000	0,940
	p	0,000	0,000	0,664	0,000	0,000	0,000		0,000
NDVI átlag 2019 (6)	r	-0,010	0,400	0,000	-0,440	0,520	0,920	0,940	1,000
	p	0,5905	0	0,8071	0	0	0	0	

Table 1. Correlation analysis of the examined factors using Pearson's correlation analysis. (1) Factors, (2) Height (m), (3) Yield (t ha<sup>-1</sup>), (4) bNDVI mean 2019, (5) GNDVI mean 2019, (6) NDVI mean 2019

#### Talajszkenner által mért, EC<sub>a</sub>-val kapcsolatos összefüggések

A 2018-ban a belvíz foltok kezelésére történő 3D árkos belvívlevezetés előtt (4. ábra) és 2019-ben a belvív elvezetése után mért (5. ábra) EC<sub>a</sub> adatok szo-

ros, szignifikáns kapcsolatban voltak egymással ( $r=0,74$ ), a különböző években mért  $EC_a$  értékek 55%-ban függtek össze.

4. ábra. A tábla  $EC_a$  eloszlása 2018 tavaszán, a vízrendezés előtt

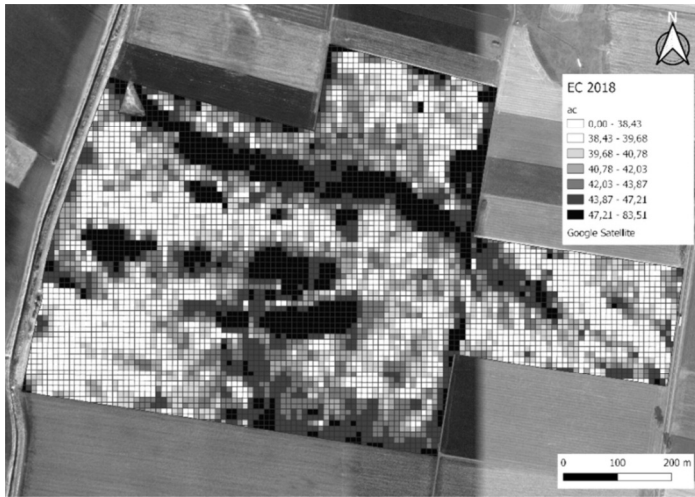


Figure 4.  $EC_a$  distribution of the plot in the spring of 2018, before draining

5. ábra. A tábla  $EC_a$  eloszlása 2019 tavaszán, a vízrendezés után



Figure 5.  $EC_a$  distribution of the plot in the spring of 2019, after draining



A 2019-es magassági, 2018-as és 2019-es  $EC_a$  pontszerű mérési adatokat is a korábban leírt  $10 \times 10$  méteres UTM vektorrácsba „attribútumok kapcsolása hely alapján (spatial join)” művelettel vittük be és ezzel végeztük az összefüggés vizsgálatokat. A 2018-as térképezés során, a táblán belüli magassági értékek és  $EC_a$  értékek szignifikáns, de közepesen gyenge ( $r=0,46$ ) kapcsolatban voltak egymással, a magasság 21%-ban befolyásolta az  $EC_a$  értékeket. A belvízrendezés után 2019-ben mért magasság és az  $EC_a$  összefüggése szignifikánsan közepesen gyenge volt ( $r=0,47$ ), a magasság 22,5%-ban befolyásolta az  $EC_a$  értékeket.

*Talajszkenner által mért vörös és közeli infravörös reflektancia összefüggései*  
A mért infravörös és vörös reflektancia aránya (IR/R) a két vizsgált évben szignifikánsan, de gyengén ( $r=0,15$ ) függött össze, a műszer optikai ablakának kopása nagyban befolyásolja a mért adatok összehasonlíthatóságát. A domborzat és a 2018-as IR/R adatok összefüggése szignifikáns, de gyenge ( $r=0,029$ ), a domborzat és a 2019-es IR/R adatok összefüggése is szignifikáns, gyenge ( $r=0,22$ ) volt. A kalibrált szervesanyag-eloszlás (OM) (6. ábra) a 2018-as IR/R adatokkal szignifikáns, de gyenge ( $r=0,04$ ), a 2019-es adatokkal is gyenge ( $r=0,11$ ) összefüggést mutatott.

A talajminták segítségével kalibrált szervesanyag tartalom (OM) és a domborzat összefüggése szignifikánsan közepesen gyenge ( $r=0,34$ ); a Veris U3 által mért pH és a domborzat összefüggése szignifikáns, de gyenge ( $r=0,12$ ) volt. A Veris által mért pH és a 2018-as  $EC_a$  adatok között gyenge ( $r=0,18$ ), a pH és a 2019-es  $EC_a$  adatok között is gyenge ( $r=0,17$ ), de szignifikáns kapcsolat volt. A pH és a 2018-as IR/R adatok között nem volt szignifikáns a kapcsolat, azonban a pH és a 2019-es IR/R adatok között szignifikáns, közepesen gyenge kapcsolatot mutattunk ki. A Veris pH és az OM eloszlás között gyenge ( $r=0,13$ ), szignifikáns kapcsolat volt.

*Talajszkenner adatok összefüggése az UAV alapú vegetációs indexekkel*

A 2018-ban mért  $EC_a$  adatok gyenge összefüggést ( $r=0,3$ ) mutattak a 2019. 06. 21-én mért UAV alapú bNDVI adatokkal. A belvízelvezetés után mért  $EC_a$  és a 2019. 06. 21-én mért bNDVI adatok kapcsolata szintén gyenge ( $r=0,27$ ) volt. A következő, 2019. 07. 19-ei UAV alapú bNDVI felvétel és a 2018-as  $EC_a$  eloszlás között is gyenge ( $r=0,19$ ) volt a kapcsolat. A 2019-es  $EC_a$  eloszlás és a 2019. 07. 19-ei UAV bNDVI felvétel között is gyenge ( $r=0,19$ ) volt az összefüggés. A 2019.



06. 21-én mért UAV alapú GNDVI adatok közepesen gyenge összefüggést ( $r=0,33$ ) mutattak a tábla 2018-as  $EC_a$  eloszlásával. Ezek az UAV felvételek közepesen gyengén ( $r=0,34$ ) függtek össze a 2019-es  $EC_a$  eloszlással. A 2019. 07. 19-én készült UAV alapú GNDVI értékek és a 2018-as  $EC_a$  eloszlás kapcsolata gyenge ( $r=0,21$ ) volt. A 2019. júliusi GNDVI felvétel és a 2019-es  $EC_a$  eloszlás összefüggése közepesen gyenge ( $r=0,28$ ) volt.

6. ábra. A vizsgált tábla talajmintával kalibrált szervesanyag (OM) térképe

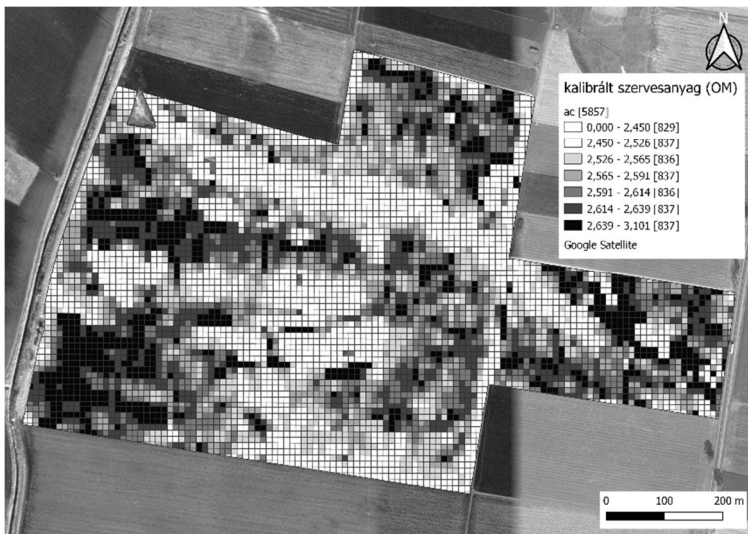


Figure 6. Organic matter (OM) map of the examined plot, calibrated with soil samples

A 2019-es  $EC_a$  és IR/R értékek együttesen közepesen gyengén ( $r=0,29$ ) hatottak a 2019. június UAV bNDVI értékekre. A 2019-es  $EC_a$  és IR/R értékek együttesen közepesen gyengén ( $r=0,37$ ) függtek össze a 2019. júniusi UAV GNDVI értékekkel. A 2019-ben mért  $EC_a$  és IR/R értékek gyengén ( $r=0,21$ ) függtek össze a 2019. júliusi bNDVI, és közepesen gyengén ( $r=0,29$ ) a GNDVI értékekkel.

A pH-val kiegészített 2019-es  $EC_a$  és IR/R értékek közepesen gyengén ( $r=0,31$ ) hatottak a júniusi UAV bNDVI, és szintén közepesen gyengén ( $r=0,39$ ) hatottak a júniusi UAV GNDVI értékekre. A júliusi UAV bNDVI értékek adatai gyenge ( $r=0,21$ ), GNDVI adatai pedig közepesen gyenge ( $r=0,30$ ) összefüggést mutattak a 2019-es Veris  $EC_a$ , IR/R és pH adatokkal.

A 2019-ben mért  $EC_a$ , kalibrált OM és pH adatok közepesen gyenge ( $r=0,32$ ) hatást fejtettek ki a 2019. júniusi UAV bNDVI adatokra. Az UAV alapú júniusi GNDVI adatok közepesen gyenge ( $r=0,38$ ) összefüggést mutattak az  $EC_a$ , kalibrált OM és pH adatokkal. A 2019. júliusi UAV bNDVI eloszlás gyenge ( $r=0,19$ ), a GNDVI eloszlás közepesen gyenge ( $r=0,30$ ) kapcsolatban volt az  $EC_a$ , OM és pH adatokkal.

#### *Talajszkenner adatok összefüggése a Sentinel 2 műhold alapú vegetációs indexekkel*

A Sentinel 2 műhold alapú vegetációs indexeket is összevetettük a táblán két évben mért  $EC_a$  eloszlásokkal. A 2019-es évi bNDVI vegetációs index és a 2018-as évben mért  $EC_a$  értékek között közepes ( $r=0,53$ ) volt a kapcsolat, a mért  $EC_a$  értékek 28,1%-ban függtek össze a 2019-es tenyészév adataiból készült bNDVI értékekkel. A bNDVI értékek és a tábla vízrendezés utáni 2019-es  $EC_a$  eloszlása között közepesen szoros ( $r=0,58$ ) volt a kapcsolat, az  $EC_a$  értékek 33,9%-ban mutattak hasonló mintát a tábla bNDVI eloszlását. A Sentinel 2 alapú GNDVI értékek (7. ábra) és a 2018-as  $EC_a$  adatok között közepesen szoros ( $r=0,56$ ) volt az összefüggés, a GNDVI és a 2019-es  $EC_a$  adatok között közepesen szoros ( $r=0,61$ ) volt a kapcsolat, a vízrendezés utáni  $EC_a$  eloszlás 37,5%-ban függött össze a GNDVI eloszlással a táblán.

A Sentinel 2 műhold alapú 2019-es NDVI eloszlás és a 2018-as  $EC_a$  adatok között közepesen gyenge ( $r=0,44$ ) volt a kapcsolat. A 2019-es  $EC_a$  és a 2019-es NDVI eloszlás között közepes ( $r=0,48$ ) volt az összefüggés.

A 2019-es Sentinel 2 alapú bNDVI éves átlag értékek közepesen szoros ( $r=0,59$ ), a GNDVI éves átlagok szintén közepesen szoros ( $r=0,61$ ), az NDVI éves átlagok közepesen szoros ( $r=0,5$ ) kapcsolatban voltak a 2019-ben mért  $EC_a$  és IR/R adatokkal.

Ha a pH eloszlást is figyelembe vesszük az  $EC_a$  és IR/R adatok mellett, akkor ezek együttes hatásának összefüggése a Sentinel 2 alapú bNDVI adatokkal közepesen szoros ( $r=0,60$ ), a GNDVI adatokkal közepesen szoros ( $r=0,62$ ), az NDVI adatokkal pedig közepes ( $r=0,50$ ) volt.

Ha az IR/R adatok helyett a talajminták segítségével előállított OM adatokat használjuk, akkor az  $EC_a$  és OM együttesen közepesen szoros ( $r=0,60$ ) kapcsolatban volt a Sentinel 2 alapú éves bNDVI átlag értékekkel. A Sentinel 2 alapú GNDVI értékekkel közepesen szoros ( $r=0,63$ ), az NDVI értékekkel pedig közepes ( $r=0,51$ ) kapcsolatban voltak az  $EC_a$  és OM adatok. Amennyiben a pH ada-

tokat is figyelembe vesszük az  $EC_a$  és talajmintával kalibrált OM adatok mellé, ezek az adatok a Sentinel 2 alapú 2019-es bNDVI átlagokkal közepesen szoros ( $r=0,62$ ) kapcsolatban voltak. A műhold alapú GNDVI adatok közepesen szoros ( $r=0,64$ ), az NDVI adatok pedig közepes ( $r=0,52$ ) kapcsolatban voltak a Veris által mért kalibrált adatokkal.

7. ábra. A vizsgált tábla Sentinel 2 alapú éves átlag GNDVI képe (2019)

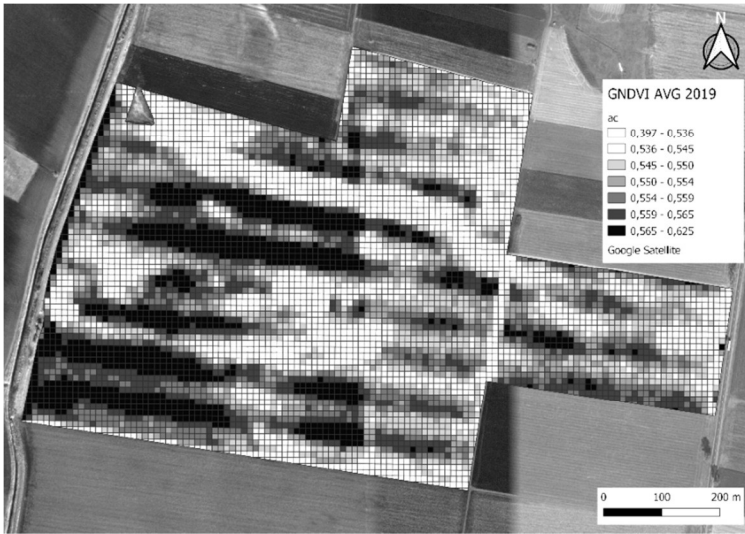


Figure 7. Sentinel 2-based yearly mean GNDVI image of the examined plot (2019)

#### Talajszkenner adatok összefüggése a kukorica termésével

A kukorica hozamának a 2018-as  $EC_a$  adatokkal közepesen gyenge ( $r=0,34$ ), a 2019-es  $EC_a$  adatokkal szintén közepesen gyenge ( $r=0,38$ ) volt a kapcsolata. A domborzat és a termés összefüggése gyenge ( $r=0,12$ ) volt. A 2019-es  $EC_a$  és IR/R adatok közepesen gyenge ( $r=0,39$ ) összefüggésben voltak a kukorica termésével. A pH eloszlást is figyelembe véve az  $EC_a$  és IR/R adatok mellé ezek erősebb, de így is közepes ( $r=0,42$ ) összefüggést mutattak a hozammal. Az IR/R értékek kalibrált OM adatokkal való helyettesítése nem változtatott az  $EC_a$ , OM és pH adatok termésre gyakorolt hatásán, így ez a kapcsolat itt is közepes ( $r=0,42$ ) volt. Az RTK korrekció segítségével mért magasságot is figyelembe véve a 2019-es  $EC_a$ , IR/R, pH és domborzat együttesen közepes ( $r=0,45$ ) kapcsolatban volt a kukorica termésével. Az IR/R adatok kalibrált szervesanyag

(OM) adatokkal való helyettesítése esetében az  $EC_a$ , OM, pH és magasság együttesen közepes ( $r=0,44$ ) kapcsolatban volt a terméssel.

*Talajszkenner és UAV alapú vegetációs indexek összefüggése a kukorica termésével*

A 2019. 06. 21-i UAV orthofotóból készített bNDVI eloszlás közepesen gyenge ( $r=0,39$ ), a GNDVI felvétel (8. ábra) közepes ( $r=0,47$ ) összefüggésben volt a kukoricatermésével.

8. ábra. A vizsgált tábla  $10 \times 10$  méteres vektor adatbázissá konvertált UAV alapú GNDVI felvétele (2019. 06. 21.)

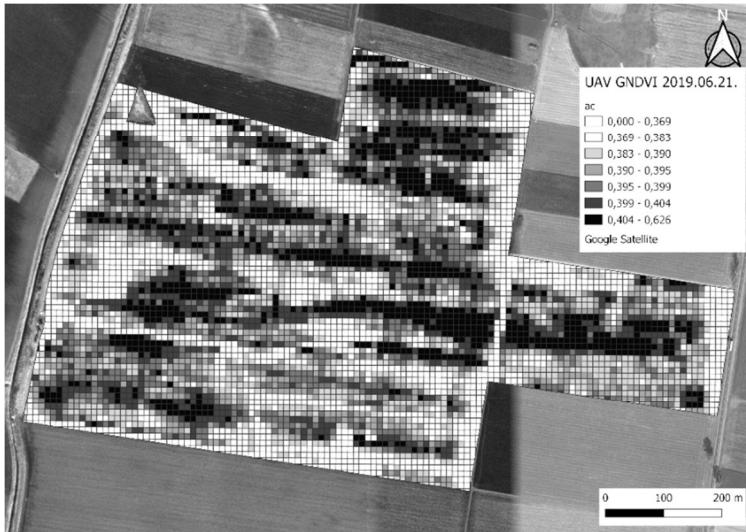


Figure 8. The UAV-based GNDVI image of the examined plot, converted to a  $10 \times 10$  m vector database (21/06/2019)

A 2019. 07. 10-i UAV felvételezésből származó bNDVI eloszlás közepesen gyenge ( $r=0,37$ ), a GNDVI kép szintén közepesen gyenge ( $r=0,39$ ) kapcsolatot mutatott a terméssel. A júniusi és júliusi repülés adatait együtt vizsgálva a bNDVI adatok közepes ( $r=0,52$ ), a GNDVI adatok is közepes ( $r=0,54$ ) kapcsolatban voltak a terméssel. A két repülési időpont bNDVI és GNDVI adatai együtt közepesen szoros ( $r=0,60$ ) kapcsolatban voltak a mért termésadatokkal.

A talaj  $EC_a$  adatokkal együtt vizsgálva a júniusi UAV alapú bNDVI vegetációs index közepes ( $r=0,48$ ) kapcsolatban volt a terméssel. A júniusi UAV alapú

GNDVI adatok és  $EC_a$  adatok együttesen közepes ( $r=0,53$ ) összefüggésben voltak a terméssel. A júliusi UAV bNDVI és  $EC_a$  adatok együtt közepes ( $r=0,49$ ), a GNDVI és  $EC_a$  adatok szintén közepes ( $r=0,48$ ) kapcsolatban voltak a terméssel.

A talaj  $EC_a$  és IR/R reflektancia adatok és a júniusi UAV alapú bNDVI adatok közepesen ( $r=0,49$ ), a talajszkenner adatok és a GNDVI adatok is közepesen ( $r=0,53$ ) függtek össze a kukorica termésével. A júliusi bNDVI és talajszkenner által mért adatok közepesen ( $r=0,5$ ), a GNDVI és talajszkenner adatok is közepesen ( $r=0,50$ ) függtek össze a kukorica termésével.

A Veris U3 által mért pH eloszlással kiegészített talaj  $EC_a$ , valamint IR/R adatok és a júniusi UAV alapú bNDVI adatok összefüggése közepes ( $r=0,54$ ) volt a kukorica termésével. A júniusi GNDVI és a Veris  $EC_a$  IR/R, valamint pH eloszlás adatok közepes ( $r=0,56$ ) kapcsolatban voltak a terméssel.

A júliusi bNDVI felvétel kiegészítve az  $EC_a$ , IR/R és pH adatokkal közepes ( $r=0,55$ ), a GNDVI felvétel és a talajszkenner adatok is közepes ( $r=0,55$ ) kapcsolatban voltak a kukorica hozamával.

Együttesen vizsgálva a júniusi bNDVI és GNDVI adatokat és a Veris  $EC_a$ , IR/R, valamint pH adatokat, ezek együttesen közepesen szorosan ( $r=0,59$ ) függtek össze a kukorica termésével. A júliusi repülésből származó két vegetációs index és a talajszkenner adatok együttesen közepesen szoros ( $r=0,58$ ) kapcsolatban álltak a kukorica hozamával. A két repülési időpont bNDVI és GNDVI eloszlása, valamint a talajszkenner  $EC_a$ , IR/R és pH adatai együtt szoros ( $r=0,72$ ) kapcsolatban voltak a kukorica termésével, az UAV és talajszkenner adatok 52%-ban függtek össze a terméssel.

#### *Talajszkenner adatok és UAV alapú, valamint Sentinel 2 műhold alapú vegetációs indexek összefüggése a kukorica termésével*

A kukorica hozam adatok a 2019 évi műhold alapú bNDVI adatokkal közepes ( $r=0,52$ ), a GNDVI értékekkel szintén közepes ( $r=0,55$ ), és az NDVI eloszlással is közepes ( $r=0,52$ ) kapcsolatban voltak. A 2019-es Sentinel 2 alapú bNDVI értékek és a 2018-as  $EC_a$  eloszlás közepes ( $r=0,53$ ), a 2019-es GNDVI eloszlás és a 2018-as  $EC_a$  értékek szintén közepes ( $r=0,55$ ), valamint a 2019-es NDVI és a 2018-as  $EC_a$  értékek is közepes ( $r=0,54$ ) hatást gyakoroltak a kukorica termésére. A bNDVI eloszlás és a 2019-es  $EC_a$  értékek közepesen ( $r=0,54$ ), a GNDVI és a 2019-es  $EC_a$  értékek is közepesen ( $r=0,55$ ), továbbá az NDVI és az  $EC_a$  értékek szintén közepesen ( $r=0,55$ ) hatottak a kukorica hozamára.



Együttesen vizsgálva a Sentinel 2 alapú bNDVI, GNDVI és NDVI értékek közepesen erősen ( $r=0,59$ ) függtek össze a kukorica szemtermés eredményeivel. A 2018-ban mért  $EC_a$  és a három Sentinel 2 alapú vegetációs indexnek együttesen közepesen erős ( $r=0,6$ ) volt a kapcsolata a szemtermés adatokkal. A 2019-es mért  $EC_a$  eloszlás és a három Sentinel 2 alapú vegetációs index együtt közepesen erős ( $r=0,6$ ) kapcsolatot mutatott a kukorica hozamával. Az IR/R adatokat is számításba véve a talajszkenner és a Sentinel 2 vegetációs indexek a terméssel közepesen szoros ( $r=0,61$ ) kapcsolatban voltak. A Veris pH,  $EC_a$  IR/R és az egyéves Sentinel 2 alapú bNDVI, GNDVI és NDVI adatok közepesen szoros ( $r=0,62$ ) kapcsolatban voltak a kukorica termésével.

A két UAV repülés bNDVI adataival kiegészítve a Veris, valamint a Sentinel 2 adatokat, ezek összefüggése a terméssel szoros ( $r=0,79$ ) volt. Figyelembe véve az UAV alapú GNDVI eloszlást a szintén UAV alapú bNDVI, a Sentinel 2 alapú éves bNDVI, GNDVI, és NDVI átlagokat, valamint az  $EC_a$ , IR/R és pH eloszlást, ezek összefüggése a kukorica termésével szoros ( $r=0,86$ ) és szignifikáns volt, a talajszkenner és a távérzékelte adatok 74,6%-ban függtek össze a kukorica termésével.

### Következtetések

Elemzéseink alapján megállapítható, hogy sem az  $EC_a$ , sem pedig az egyéves távérzékelte adatok önmagukban nem adnak elegendő információt a tábla-heterogenitással kapcsolatban. Azonban minél több forrásból származó adatot használunk fel, annál pontosabb azok termésével való összefüggése.

### Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program NKFIH-1150-6/2019 számon támogatta, a Debreceni Egyetem 4. tématerületi programja keretében. E mellett a kutatást a GINOP-2.2.1-15-2016-00001 azonosító számú „*Üzemmérettől független komplex precíziós szaktanácsadási rendszer kialakítása*”, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta, amely az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## Irodalom

- Agrocam.eu*: <https://www.agrocam.eu/specification-dji-phantom4-std-ndvi>
- Cerasoli, S.–Campagnolo, M. L.–Faria, J.–Nogueira, C.–Caldeia, M. C.*: 2018. On estimating the gross primary productivity of Mediterranean grasslands under different fertilization regimes using vegetation indices and hyperspectral reflectance. *Biogeosciences*. 15. 17: 5455–5471.
- Corwin, D. L.–Lesch, S. M.*: 2003. Application of soil electrical conductivity to precision agriculture: theory, principles and guidelines. *Agron. J.* 95: 455–71.
- De Benedetto, D.–Castrignano, A.–Rinaldi, M.–Ruggieri, S.–Santoro, F.–Figorito, B.–Gualano, S.–Diacono, M.–Tamborrino, R.*: 2013. An approach for delineating homogeneous zones by using multi-sensor data. *Geoderma*. 199: 117–127.
- Dobos, E.–Micheli, E.–Baumgardner, M. F.–Biehl, L.–Helt, T.*: 2000. Use of combined digital elevation model and satellite radiometric data for regional soil mapping. *Geoderma*. 97. 3–4: 367–391.
- Hengl, T.–Heuvelink, G. B. M.–Rossiter, D. G.*: 2007. About regression-kriging: From equations to case studies. *Computers & Geosciences*. 33. 10: 1301–1315.
- Hengl, T.–Rossiter, D. G.–Husnjak, S.*: 2002. Mapping soil properties from an existing national soil data set using freely available ancillary data. *Proceedings of the 17th World Congress of Soil Science*. Paper no. 1140. IUSS. Bangkok. Thailand. 1481.
- Huang, L.–Liu, X.–Wang, Z.–Liang, Z.–Wang, M.–Liu, M.–Suarez, D. L.*: 2017. Interactive effects of pH, EC and nitrogen on yields and nutrient absorption of rice (*Oryza sativa* L.) *Agricultural Water Management*. 194: 48–57.
- Kravchenko, A. N.–Bullock, D. G.*: 2002. Spatial variability of soybean quality data as a function of field topography: I. Spatial data analysis. *Crop Science*. 42: 804–815.
- McBratney, A. B.–Santos, M. L. M.–Minasny, B.*: 2003. On digital soil mapping. *Geoderma*. 117. 1–2: 3–52.
- Odeh, I. O. A.–McBratney, A. B.–Chittleborough, D.*: 1995. Further results on prediction of soil properties from terrain attributes: heterotropic cokriging and regression kriging. *Geoderma*. 67: 215–226.
- Rudolph, S.–van der Kruk, J.–von Hebel, C.–Ali, M.–Herbst, M.–Montzka, C.–Pätzold, S.–Robinson, D. A.–Vereecken, S.–Weihermüller L.*: 2014. Linking satellite derived LAI patterns with subsoil heterogeneity using large-scale ground-based electromagnetic induction measurements. *Geoderma*. 241–242., 262–271.
- Wackernagel, H.*: 1998. *Linear Regression and Simple Kriging*. *Multivariate Geostatistics*. Springer. Berlin–Heidelberg.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Dr. Ragán Péter – Dr. Csatári Nándor – Dr. Vántus András – Dr. Hagymássy Zoltán –  
Dr. Nagy János – Dr. Rátonyi Tamás

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet

Debrecen

Böszörményi út 138.

H-4032

\*ragan@agr.unideb.hu

Dr. Sulyok Dénes Zsolt

KITE Zrt.

Nádudvar

Bem József u. 1.

H-4181

Dr. Harsányi Endre

NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet

Gödöllő

Tessedik Sámuel u. 2-4.

H-2100



## **A *Nostoc piscinale* cianobaktérium biostimuláns hatása a Zephir kukorica hibridre – Mosonmagyaróvár**

<sup>1</sup>TAKÁCS GEORGINA – <sup>1</sup>PÓTHE PÉTER – <sup>1</sup>GERGELY ISTVÁN – <sup>1</sup>MOLNÁR ZOLTÁN –

<sup>2</sup>NAGY JÁNOS – <sup>1,3</sup>ÖRDÖG VINCE

<sup>1</sup>Széchenyi István Egyetem MÉK,

Növénytudományi Tanszék, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

<sup>3</sup>Research Centre for Plant Growth and Development, University of KwaZulu-Natal,  
Pietermaritzburg

### **Összefoglalás**

Egyre több bizonyíték van arra, hogy mikroalga kezelésekkel javítható a növények környezeti stressztűrő képessége és növelhető terméshozama. Kísérletünk célja az volt, hogy megismerjük az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal végzett kezelések hatását az SY Zephir 390 FAO számú, korai érésű kukorica hibrid leveleinek klorofill-, prolin- és relatív víztartalmára, továbbá növekedésére, fejlődésére és termésére. A nagy-parcellás kísérletet az SZE MÉK Tangazdaságában (47°52'N; 17°16'E) 2019-ben állítottuk be három kezeléssel és négy ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben. A cianobaktérium vizes szuszpenzióját 400 l/ha mennyiségben 0,3 vagy 1 g/l koncentrációban háti permetezővel juttattuk ki a 6–8 leveles növényekre. A *N. piscinale* 0,3 és 1 g/l koncentrációban is a kontrolltól (8,140 t/ha) nagyobb (8,379 és 8,675 t/ha) terméshozamot eredményezett. A termésnövekedés a kezelésre adott kedvező növényi válaszokkal magyarázható: növénymagasság növekedése; korábbi levélképződés; nagyobb gyökértömeg; megnövekedett klorofill-, RWC- és prolintartalom. A kezelések növelték a csövek hosszát és a 100-mag tömeget, de a csőátmérőt csupán 0,3 g/l koncentrációban. Az eredmények alapján az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktérium biostimuláns hatású és a gazdaságosságot is figyelembe véve 0,3 g/l koncentrációban (120 g/ha) ki-

juttatva a 6–8 leveles SY Zephir 390 kukorica hibridre kedvezően befolyásolja a növény növekedését és fejlődését, továbbá növeli terméshozamát.

**Kulcsszavak:** cianobaktérium, kukorica, növekedés, fejlődés, terméshozam

## **Biostimulant effects of the *Nostoc piscinale* cyanobacterium on the SY Zephir 390 maize hybrid – Mosonmagyaróvár**

<sup>1</sup>G. TAKÁCS – <sup>1</sup>P. PÓTHE – <sup>1</sup>I. GERGELY – <sup>1</sup>Z. MOLNÁR – <sup>2</sup>J. NAGY – <sup>1,3</sup>V. ÖRDÖG

<sup>1</sup>Széchenyi István University Faculty of Agricultural and Food Sciences,  
Department of Plant Sciences, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and  
Environmental Management, Institute of Land Use, Technology and  
Regional Development, Debrecen

<sup>3</sup>Research Centre for Plant Growth and Development, University of KwaZulu-Natal,  
Pietermaritzburg, South Africa

### **Summary**

An increasing number of evidence show that microalgae treatments can improve the environmental stress tolerance and yield of plants. The aim of this work was to study the effects of the MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium treatment on the chlorophyll, proline and relative water content of leaves, as well as the growth, development and yield of the SY Zephir 390 maize hybrid. The experiment was carried out at the Faculty Farm in Mosonmagyaróvár (47°52'N; 17°16'E) in 2019 with three treatments and four replications in a random block design. The plants at the 6–8 leaf stage were treated with a hand sprayer with 400 l ha<sup>-1</sup> aqueous suspension of the cyanobacterium in concentrations of 0.3 or 1 g l<sup>-1</sup>. The plant treatments with *N. piscinale* resulted in higher yields at 0.3 and 1 g l<sup>-1</sup> concentrations (8.379 and 8.675 t ha<sup>-1</sup>) than the control (8.140 t ha<sup>-1</sup>). Yield increase could be explained by favorable plant responses to both treatments: taller plants; earlier leaf formation; enhanced root system; increased chlorophyll, RWC and proline content. Treatments also increased the cob length and thousand grain weight, but the cob diameter only at 0.3 g l<sup>-1</sup>. Considering economic aspects and the obtained results, MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium is a

promising plant biostimulant and when applied at a concentration of 0.3 g l<sup>-1</sup> (120 g ha<sup>-1</sup>) on 6–8 leaf plants of the SY Zephir 390 maize hybrid, it has a positive effect on plant growth and increases yield.

**Key words:** cyanobacterium, maize, growth, development, yield

## Влияние цианобактериального биостимулятора «*Nostoc piscinale*» на гибрид кукурузы «Zephir» – Мошонмадьяровар

<sup>1</sup>Г. ТАКАЧ – <sup>1</sup>П. ПЁТЕ – <sup>1</sup>И. ГЕРГЕЙ ШТВАН – <sup>1</sup>З. МОЛНАР –  
<sup>2</sup>Я. НАДЬ – <sup>1,3</sup>В. ОЁРДЁГ

<sup>1</sup>Университет им. Сечени Иштвана, Факультет Сельского Хозяйства и Науки о  
Пище, Кафедра Ботаники, Mosonmagyaróvár

<sup>2</sup>Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и  
Экологического Менеджмента, Институт Землепользования, Технический и  
Развития Территорий, Debrecen

<sup>3</sup>Research Centre for Plant Growth and Development, University of KwaZulu-Natal,  
Pietermaritzburg, South Africa

### Резюме

Всё больше подтверждается, что обработки микроводорослями могут улучшить стрессоустойчивую способность растений к окружающей среде и могут увеличить урожай. Целью нашего опыта было познакомиться с влиянием обработок, проведённых с цианобактериями МАСС-612 *Nostoc piscinale* на содержание листьями хлорофилла, пролина, и относительного содержания влаги у гибрида кукурузы раннего созревания «SY Zephir» с числом FAO 390, и также влияние на его рост, развитие и урожай. Опыт установили на большой парцелле в 2019 году в учебном хозяйстве SZE MÉK (Университет им. Сечени) (47°52'N; 17°16'E) с 3 обработками и в 4 повторениях, в расположении случайными блоками. Водную суспензию цианобактерий в количестве 400 л/га в концентрации 0,3 или 1 г/л внесли наплечным опрыскивателем на растения в возрасте 6–8 листьев. *N. piscinale* в концентрации 0,3 и 1 г/л дало и в отличии от контроля (8,140 т/га) больший урожай (8,379 и 8,675 т/га).

Увеличение урожая можно объяснить благоприятным реагированием растения на обработку: увеличение высоты растения; более раннее формирование листьев; больше масса корня; увеличенное содержание хлорофилла, RWC, и пролина. Обработки увеличили длину початков и массу 100 зёрен, но диаметр початка увеличили только в концентрации 0,3 g/l. На основании результатов цианобактерии МАСС-612 *Nostoc piscinale* имеют биостимулирующее влияние и учитывая экономичность этого в концентрации 0,3 g/l (120 g/ha) при разбрызгивании на 6–8 листовые гибриды кукурузы SY Zephir 390 благоприятно влияют на рост и развитие растения, а также увеличивают его урожайность.

**Ключевые слова:** цианобактерии, кукуруза, рост, развитие, урожайность

## Bevezetés

A globális klímaváltozás következtében a vegetációs időszak egyre gyakoribb és hosszabb száraz, meleg időszakokkal jár együtt, ami jelentősen befolyásolja a terméshozadékot és termésmennyiséget. Kiemelt jelentőségű, ezért a szárazságtűrő növények nemesítése és olyan eljárások kidolgozása, amelyek képesek növelni a növények ellenálló képességét a csapadékhiányos időszakban.

Tengeri algakivonatokat már az 1940-es évektől használnak terméshozadékra és a növények stressztűrő képességének a javítására (Craigie 2011). Az algakivonatokra a növények többféle választ adnak: növekszik a gyökérzetük és hajtásuk, a tápanyagfelvételük, a virág- és terméskötődésük, eltolódik az öregeedésük, a gyümölcsök pedig hosszabb ideig lesznek eltarthatók (Metting et al. 1990, Crouch és Van Staden 1994, Khan et al. 2009). Kukoricánál Trivedi et al. (2017) biostimuláns tengeri algakivonattal akkor érték el a legnagyobb terméshozadékot (32%), amikor azt a V5 és V15 (5. és 15. levél megjelenése) fejlődési fázisokban kezelték. Blunden et al. (1997) kukorica és búza talajára és levelére permetezték ki az *Ascophyllum nodosum* tengeri alga vizes-lúgos kivonatát, ami a levelek klorofill tartalmának növekedését eredményezte. A szakirodalom számos más ígéretes kísérletről számolt be, amelyeknél a kedvező hatás az algakivonatokkal kijuttatott kis mennyiségű makro- és mikroelemekkel egyik esetben sem volt magyarázható (Crouch és Van Staden 1994). Sokkal inkább növényi hormonok és más elicitor molekulák, például poliszaccharidok bizonyultak felelősnek a terméshozadékért (Khan et al. 2009).

Ma már közismert, hogy a tengeri makroalgákhoz hasonlóan az édesvízi mikroalgák is képesek a magasabbrendű növényekben működő hormonok termelésére, ezért alkalmasak speciális növénykezelésekre (Stirk *et al.* 2013ab). Egyes mikroalgák növelik a repce és búza levelek klorofill- és víztartalmát, a gyökérzet tömegét, a termés mennyiségét, továbbá a növények ellenálló képességét a biotikus és abiotikus stresszel szemben (Takács *et al.* 2019, Tóth *et al.* 2019). Előnyük, hogy tömegtermesztő berendezésekben szinte bárhol korlátlan mennyiségben termesztethetők, míg a tengeri makroalgák gyűjtése adott földrajzi helyhez, sőt időszakhoz kötődik, ezért nem állnak folyamatosan rendelkezésre.

Kutatási célunk az volt, hogy nagyparcellás kísérletekben megismerjük az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal végzett levélkezelések hatását egy kukorica hibrid leveleinek klorofill-, prolin- és relatív víztartalmára, továbbá növekedésére, fejlődésére és termésére. A gazdaságosságot, a kivitelezhetőséget és a kukorica fejlődési szakaszaira jellemző tulajdonságokat figyelembe véve a kukoricát csupán egy alkalommal 6–8-leveles (V6-V8) fejlődési állapotban kezeltük.

### Anyag és módszer

Az SY Zephir 390 FAO számú, korai érésű kukoricahibriddel az SZE MÉK Tangazdaságában (47°52'N; 17°16'E) 2019-ben állítottunk be szántóföldi kísérletet három kezeléssel és négy ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben. Egy üzemi táblában kialakított téren a parcellák mérete 100 m<sup>2</sup> volt. A kísérleti terület talaj típusa dunai öntés talaj, ami a következő paraméterekkel jellemezhető: pH<sub>KCl</sub> 7,2; CaCO<sub>3</sub> 21,4%, Al-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 189 mg/kg, Al-K<sub>2</sub>O 200 mg/kg, NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub>-N 12,8 mg/kg, humusz tartalom 3,2%. Április 30-án szemenkénti vetőgéppel (Kuhn Maxima típus) 75 cm sortávolságra, 20–22 cm tőtávolságra és 6 cm mélyre vetettünk. A vegetációs időszak csapadék és hőmérséklet adatait és az 50 éves átlagot az 1. táblázatban foglaltuk össze.

A növények kezelésére használt MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktérium a Mosonmagyaróvári Algagyűjteményből származik. A kísérlethez szükséges biomasszát a Növénytudományi Tanszék laboratóriumában termesztettük, fagyasztva szárítottuk és mélyhűtőben tároltuk a kísérlet megkezdéséig (Ördög 1982). A növénykezelések előtt a mintákat desztillált vízben szuszpendáltuk és három percreg szonikáltuk (VirTis, VirSonic 600). A növényeket 6–8 leveles ál-

lapotban (V6-V8) kezeltük június 7-én, Hanway skála 2-es érték (*Hanway* 1966). A mikroalga minták vizes szuszpenzióját 400 l/ha mennyiségben 0,3 vagy 1 g/l koncentrációban háti permetezővel juttattuk ki a növények levelére. A jobb tapadás érdekében tapadást segítő Trend 90 nem ionos nedvesítő szert kevertünk a permetlébe. A kontroll parcella növényeit nedvesítő szert tartalmazó csapvízzel öntöttük.

1. táblázat. A vegetációs időszakban mért átlagos havi csapadékmennyiség (mm) és hőmérséklet (°C) Mosonmagyaróváron 2019-ben, valamint az 50 éves átlag adatok

Hónapok (1)	2019		Évek átlaga (2) (1966–2016)	
	mm	°C	mm	°C
IV.	<i>18</i>	<i>12,1</i>	39	10,5
V.	<i>135</i>	<i>12,7</i>	57	15,4
VI.	<i>58</i>	<i>23,0</i>	64	18,7
VII.	<i>20</i>	<i>22,2</i>	65	20,4
VIII.	<i>46</i>	<i>22,6</i>	66	21,1
IX.	<i>58</i>	<i>16,4</i>	55	12,4
X.	<i>27</i>	<i>12,0</i>	41	10,4
Összes/Átlag (3)	362,0	17,3	386,8	15,6

Megjegyzés: a dőlt értékek jelentősen eltérnek az 50 éves átlagtól.

*Table 1.* Average monthly precipitation (mm) and temperature (°C) during the vegetation period in Mosonmagyaróvár in 2019, as well as the 50-year average data. (1) Months, (2) Average of 50-years, (3) Total/Average, Note: figures in *Italic* considerably differ from the 50-year average.

Parcellánként a két középső sorból 3–3 növényről gyűjtöttünk mintát. Az algakezelés hatását a friss és száraz gyökértömegre, továbbá a gyökérhosszra az algás kezelés előtt és azt követően 14 nappal mértük. A növénymagasságot és levélszámot a cső megjelenéséig hetente, a cső megjelenése után kéthetente vizsgáltuk parcellánként 10 növényen. A kísérlet során, a prolintartalmat, relatív víztartalmat és klorofilltartalmat felülről a 2. és 3. levélen mértük. A prolin- és relatív víztartalmat (RWC% - Relative Water Content) a kezelés előtt egy nappal, a kezelés után június végéig hetente, július elejétől augusztus 20-ig kéthetente, augusztus 21-től betakarításig pedig ismét hetente mértük. A klorofilltartalmat a nővirágzásig hetente kétszer, nővirágzástól betakarításig hetente egyszer mértük. A kiásott és talajrészecskéktől megtisztított gyökerek hosszát

milliméterpapíron, friss tömegét azonnal, száraz tömegét pedig 106 °C-on 24 órással szárítást követően analitikai mérleggel mértük. A levelek prolintartalmát *Bates et al.* (1973) módszerével, a relatív víztartalmat pedig az ún. úsztatásos módszerrel vizsgáltuk (*Cabrera-Basquet et al.* 2009). A növények SPAD-értékekkel jellemzett klorofilltartalmát SPAD-502 klorofill mérővel mértük (Spectrum Technologies, Inc., 12360 S. Industrial Dr. East Plainfield, IL 60585 USA).

A betakarítás SAMPO 2010 parcellakombájnnal történt 2019. október 14-én. A betakarítás előtt parcellánként 40 csövet gyűjtöttünk és meghatároztuk a csőhosszt, csőátmérőt, parcellánkénti csőszámot, 100-mag tömeget és a szem/csutka arányt. A csutkát és a róla lemorzsolts szemeket 72 órán át 60 °C-on szárítottuk, majd megmértük a tömegüket. A parcellánkénti terméshozamból számítottuk a hektáronkénti terméshozamot.

A vizsgálati adatok kiértékelését Dell Statistica 13.2 programmal végeztük. A kezeléshatások kimutatására varianciaanalízist (ANOVA), a kezeléseket összehasonlítására pedig Duncan tesztet használtunk. Minden mérési adatot statisztikailag értékeltünk. A táblázatokban a kontrolltól igazolhatóan eltérő értékeket különböző betűkkel jeleztük. A klorofill, az RWC és a prolin adatokat áttekinthető ábrákon mutattuk be a statisztikai értékelést is tartalmazó táblázatok helyett. Az eredmények bemutatásánál az ábrákon jelöltük a vegetatív és reprodukív fázisokat: V1-Vn=vegetatív szakasz az 1-től n-leveles állapot, R1=nővirágzás, R2=hólyag állapot, R3=tejes állapot, R4=tészta állapot, R5=horpadás, R6=élettani érés.

## Eredmények

### *Növénymagasság és levélszám*

A kezelt növények magassága és levélszáma a V12-V13 stádiumtól kezdve igazolhatóan nagyobb volt a kontroll állományhoz képest (2. táblázat). Az 1 g/l cianobaktérium kezelés volt kedvezőbb hatású a növénymagasságra és a levélszámra is. A kontroll növények levélszáma július 30-ra, a tejesérés (R3) idejére elérte a kezelt növények levélszámát.

### *Gyökértömeg*

Két héttel a *Nostoc piscinale* cianobaktérium kezelés után a gyökértömeg mindkét koncentrációban szignifikánsan növekedett, de a két kezelés között nem volt jelentős különbség: a 0,3 g/l-es koncentrációnál 15% friss-, és 16%

száraz tömeg, míg az 1 g/l-es koncentrációnál 19% friss-, és 26% száraz tömeg-növekedést mértünk a kontrollhoz viszonyítva (1. ábra).

2. táblázat. A kontroll és az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal kezelt Zephir kukorica hibrid növénymagasságának és levélszámának alakulása a vegetációs időszakban

Mérések időpontja (hónap/nap) (1)	Növénymagasság (cm) (2)			Levélszám (db) (3)		
	Kontroll	N	N	Kontroll	N	N
	(4)	0,3 g/l	1 g/l	(4)	0,3 g/l	1 g/l
05. 21.	6,0	6,3 ns	6,3 ns	3	3 ns	3 ns
05. 28.	8,5	9,3 ns	9,3 ns	4	4 ns	4 ns
06. 04.	17,8	19,0 ns	18,0 ns	6	6 ns	6 ns
06. 11.	26,8	29,0 ns	27,5 ns	7	7 ns	7 ns
06. 18.	41,5	41,5 ns	40,8 ns	9	10 ns	10 ns
06. 25.	91,0	94,8 ns	98,0 ns	11	11 ns	12 P*
07. 02.	123,5	132,3 P*	139,5 P*	12	13 P*	14 P*
07. 09.	151,3	160,0 P*	159,0 P*	13	15 P*	15 P*
07. 16.	171,0	179,8 P*	183,8 P*	14	15 P*	16 P*
07. 23.	200,8	210,3 P*	216,8 P*	15	16 P*	17 P*
07. 30.	204,3	213,0 P*	220,3 P*	17	17 ns	17 ns
08. 13.	206,8	214,8 P*	222,0 P*	18	18 ns	18 ns
08. 27.	207,5	215,3 P*	222,3 P*	18	18 ns	18 ns
09. 10.	207,5	215,3 P*	222,3 P*	18	18 ns	18 ns

Megjegyzés: a dőlt eredmények szignifikánsan nagyobbak a kontrollnál (P=5%), (p) a kontrolltól statisztikailag különböző és (ns) nem különböző adatok.

Table 2. Changes in plant height and leaf number of Zephir maize hybrid control and with the MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium treated plants during the growing season. (1) Time of measurements (month/day), (2) Plant height (cm), (3) Leaf number, (4) Control, Note: figures in Italic are significantly (P=5%) higher than the control, data significantly different (p) and not different (ns) from the control.

### Klorofilltartalom

A vizsgált időszakban a 2. levélen mért és SPAD-értékkel jellemzett klorofill-tartalom a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva átlagosan 3,3%-kal növekedett a 0,3 g/l kezelésnél, míg az 1 g/l-esnél 0,8%-kal csökkent. A különbség a 0,3 g/l kezelésnél a teljes mérési időszakban statisztikailag is igazolható volt.



1. ábra. A Zephir kukorica hibrid gyökér friss- és száraztömege (g) az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal történt kezelés előtt (fekete oszlop) és 14 nappal a kezelés után (szürke oszlop)

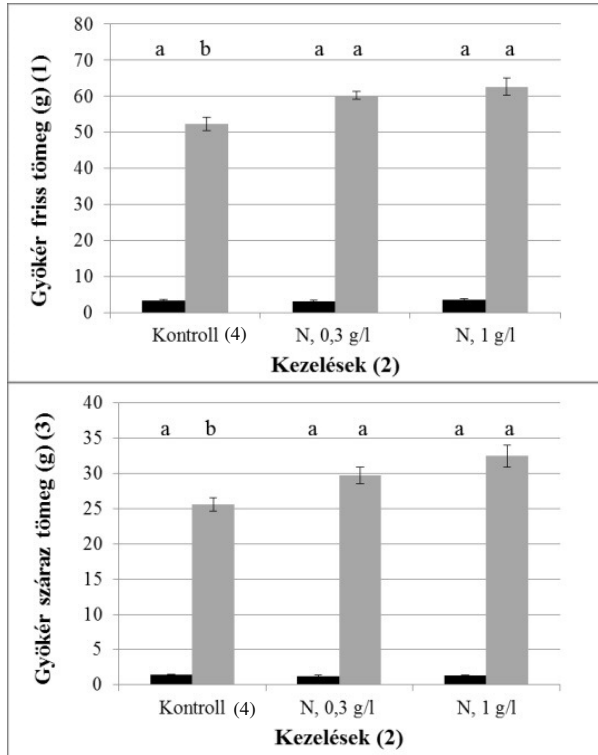


Figure 1. Fresh and dry weight of the Zephir maize hybrid root (g) before treatment with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium (black column) and 14 days after treatment (gray column). (1) Root fresh weight (g), (2) Treatments, (3) Root dry weight (g), (4) Control

Az 1 g/l kezelésnél csupán a nővirágzás (R1) végéig mértünk a kontrolltól jelentősen nagyobb értékeket. A 3. levélen a 0,3 g/l kezelésnél átlagosan 3,4%, az 1 g/l kezelésnél pedig 2,6% volt a SPAD-érték növekedése (2. ábra). A növekedés a horpadás (R5) kezdetéig mindkét kezelésnél, kevés kivétellel statisztikailag is igazolható volt. A levelek SPAD-értékei a vizsgált időszak végére mindkét levélnél mintegy 45 SPAD értékre csökkentek, de a teljes időszak alatt eltérően alakultak.

2. ábra. A Zephyr kukorica hibrid felülről a 2. (A) és 3. (B) kifejlett levelének klorofilltartalom változása az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal a V8 stádiumban történt kezelés hatására

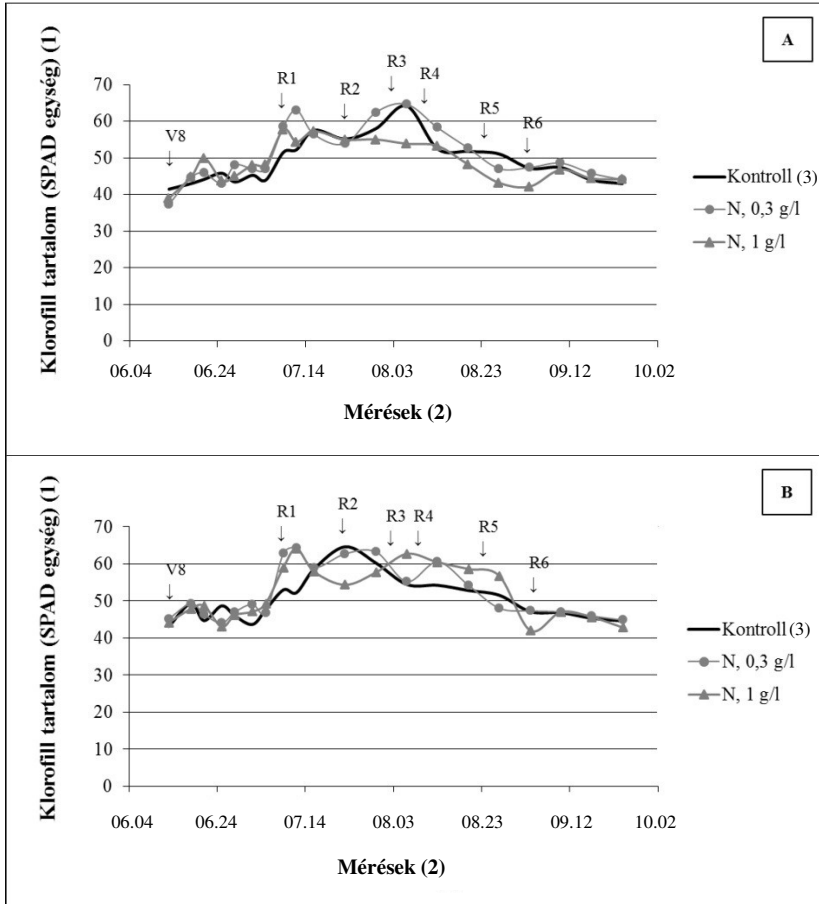


Figure 2. Leaf chlorophyll content of the Zephyr maize hybrid following the leaf treatment with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium at V8 stage - second (A) and third (B) leaf from the top of the plant. (1) Chlorophyll content (SPAD unit), (2) Measurements, (3) Control

A kontroll növények 2. levelének SPAD értékei a kezelést követő hónapban, a nővirágzásig (R1) csekély ingadozásokkal 45 körül alakultak, majd egyenletesen növekedtek 65-re a tejes állapotig (R3) és csökkentek 44-re az élettani érés (R6) után szeptember végére. A 3. levélen ugyanez a tendencia volt megfigyelhető, de a legnagyobb SPAD-értéket korábban, a hólyag állapotban (R2)

mértük. A kezelt növények 2. és 3. levelének SPAD értékei a kezeléseket után a nővirágzásig (R1) a kontrollhoz hasonlóan szűk tartományban ingadoztak (~45–50). A két kezelés hatására a nővirágzás (R1) végén ugrásszerűen megnöttek majd egy héttel később a kontrollhoz hasonló szintre csökkentek. A 0,3 g/l kezelésnél mértünk újabb, a kontroll levelekkel azonos SPAD-csúcsot. Ezt követően a SPAD értékek a 2. levélnél többnyire a kontrollnál kisebb, míg a 3. levélnél a kontrollnál nagyobb értékeket mutattak mindkét kezelésnél.

#### *Relatív víztartalom*

A vizsgált időszakban a 2. levélen mért RWC% a 0,3 g/l kezelésnél átlagosan 5,8%-kal, míg az 1 g/l kezelésnél 5,4%-kal növekedett a kezeltlen kontrollhoz viszonyítva. A 3. levélen a 0,3 g/l kezelésnél átlagosan 2,8%, az 1 g/l kezelésnél pedig 4,6% volt az RWC% növekedése (3. ábra). A mérési adatok többsége mindkét levélnél statisztikailag igazolhatóan nagyobb volt a kontroll értékektől. A 2. és 3. levél relatív víztartalom értékei a vizsgált időszakban az élettani érést (R6), szeptember elejéig a kontroll értékei felett voltak. Jelentős csökkenés mindkét levélnél csupán ezután, míg a kontrollnál már augusztus 25-én, vagyis 7–10 nappal korábban kezdődött és csökkent 40%-ra a vizsgált időszak végére.

#### *Prolintartalom*

A vizsgált időszakban a 2. levélen mért prolintartalom ( $\mu\text{mol/g}$ ) a 0,3 g/l kezelésnél átlagosan 8,2%-kal, míg az 1 g/l kezelésnél 9,4%-kal növekedett a kezeltlen kontrollhoz viszonyítva. A 3. levélen a 0,3 g/l kezelésnél átlagosan 7,1%, az 1 g/l kezelésnél pedig 14,8% volt a prolintartalom növekedése (4. ábra). A 2. és 3. levél prolintartalom értékei a vizsgált időszakban a térsza állapotig (R4), augusztus 6-ig a kontroll értékei felett voltak. Eddig a szakaszig a kontroll és a kezelt növények közötti különbség statisztikailag igazolható volt, ezután viszont megszűnt a különbség, a prolínértékek a kontroll szintjén maradtak a vizsgált időszak végéig. A 45–50. nap közötti hirtelen prolinnövekedést a kontrollnál és a kezelt növényeknél a súlyos csapadékhiánnyal és a megelőző hét hőmérsékletének 20-ról 25 °C-ra történő hirtelen emelkedésével magyarázzuk. Nővirágzaskor (R1) a kisebb mértékű növekedést hasonló okokra vezetjük vissza.

3. ábra. A Zephyr kukorica hibrid felülről a 2. (A) és 3. (B) kifejlett levelének relatív víztartalom változása az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal a V8 stádiumban történt kezelés hatására

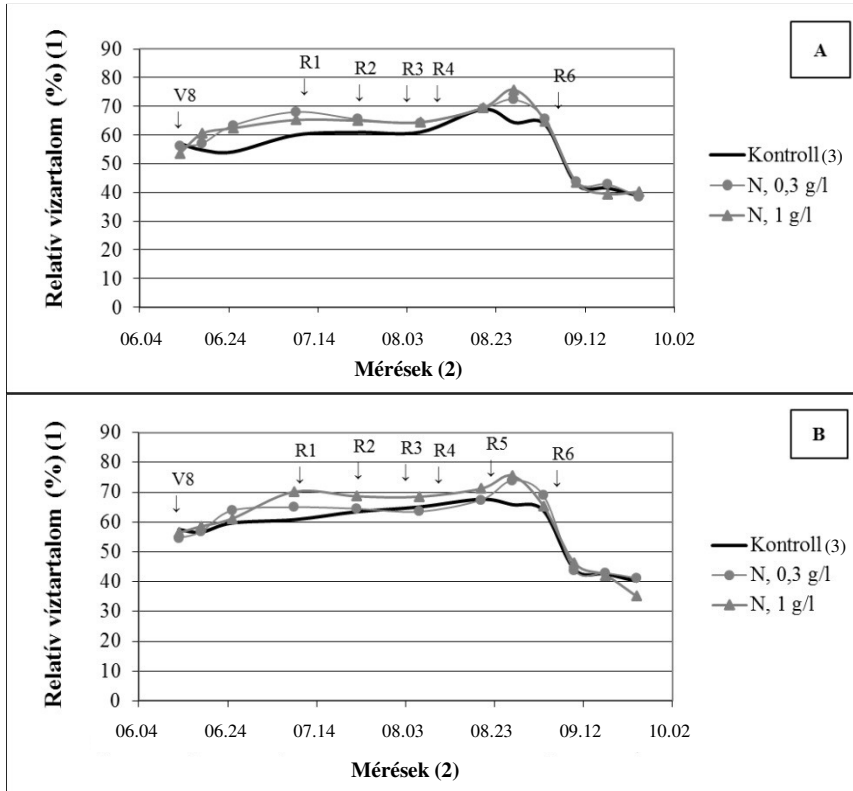


Figure 3. Leaf relative water content of the Zephyr maize hybrid following the leaf treatment with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacteria at V8 stage - second (A) and third (B) leaf from the top of the plant. (1) Relative water content (%), (2) Measurements, (3) Control

### Terméselemek és termés

A csőátmérő a 0,3 g/l kezelésnél nem, de az 1 g/l kezelésnél jelentősen csökkent a kontrollhoz viszonyítva. A csőhossz mindkét kezelés hatására nőtt: 0,3 g/l kezelésnél 4,9%, 1 g/l kezelésnél 7,4% volt a növekedés. A parcellánkénti csőszám a 0,3 g/l kezelés hatására 1,1%-kal, míg az 1 g/l kezelésnél még ennél is nagyobb mértékben, 5,5%-kal növekedett. A 14 %-os víztartalomra korrigált termésmennyiség a kontroll parcellák átlagában 8140 kg/ha, a 0,3 g/l

*N. piscinale*-val kezelt parcelláknál 8379 kg/ha, az 1 g/l kezelteknél pedig 8675 kg/ha lett, ami 2,9 és 6,6%-kal több a kontrollnál (3. táblázat).

4. ábra. A Zephir kukorica hibrid felülről a 2. (A) és 3. (B) kifejlett levelének prolintartalom változása az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal a V8 stádiumban történt kezelés hatására

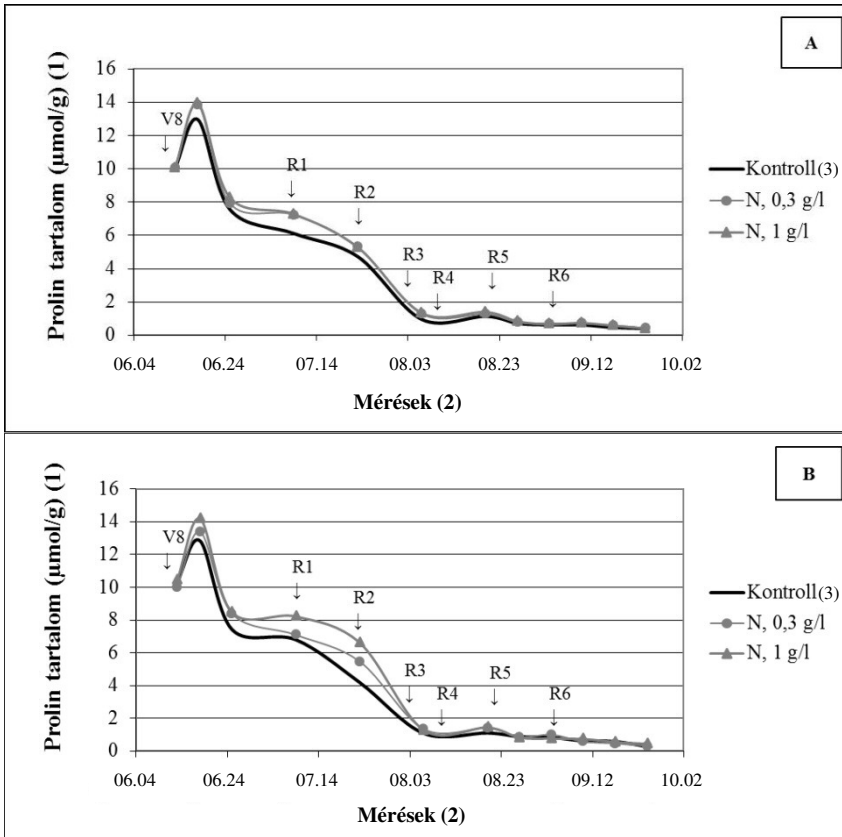


Figure 4. Leaf proline content of the Zephir maize hybrid following the leaf treatment with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacteria at V8 stage – second (A) and third (B) leaf from the top of the plant. (1) Proline content  $\mu\text{mol g}^{-1}$ , (2) Measurements, (3) Control

A kontroll parcellák csövenkénti átlagos szentömege 192,1 g volt, ehhez viszonyítva a 0,3 g/l kezelésnél a szentömeg 3,2%-kal, az 1 g/l kezelésnél pedig 5,9%-kal nőtt (4. táblázat). Jelentősen nőtt a kezelt növényeknél a 100-mag tömeg. A csutka tömege a kontrollhoz képest (27,4 g): a 0,3 g/l kezelésnél 10,9%-

kal, az 1 g/l kezelésnél pedig 22,2%-kal növekedett. A csutka százalékos aránya (szem/csutka arány) a két kezelésnél 1,1 és 2,2%-kal lett nagyobb a kontrollhoz viszonyítva.

3. táblázat. A kontroll és az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal a V8 stádiumban kezelt Zephir kukorica hibrid csőhossza, csőátmérője, parcellánkénti csőszáma és termésmennyisége

Kezelés (1)	Csőhossz (cm) (2)	Csőátmérő (cm) (3)	Parcellánkénti csőszám (db) (4)	Termés- mennyiség (kg/ha) (5)
Kontroll (6)	22,0±0,4 <sup>b</sup>	8,5±0,2 <sup>a</sup>	527±19,2 <sup>c</sup>	8140±54,5 <sup>c</sup>
N 0,3 g/l	23,1±0,3 <sup>a</sup>	8,4±0,1 <sup>a</sup>	533±21,8 <sup>b</sup>	8379±98,2 <sup>b</sup>
N 1 g/l	23,6±0,4 <sup>a</sup>	8,2±0,2 <sup>b</sup>	556±40,6 <sup>a</sup>	8675±83,1 <sup>a</sup>

Table 3. The cob length, cob diameter, cob number per plot and yield of Zephir maize hybrid treated with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium at V8 and the control. (1) Treatment, (2) Cob length (cm), (3) Cob diameter (cm), (4) Cob number per plot, (5) Yield (kg ha<sup>-1</sup>), (6) Control

4. táblázat. A MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktériummal a V8 stádiumban történt kezelés hatása a Zephir kukorica hibrid súlyállandó szemtermésére, 100-mag tömegére, csutka tömegére és szem/csutka arányára

	Szemtermés átlag (g/cső) (1)	100-mag tömeg (g) (2)	Csutka átlag (g) (3)	Szem/csutka arány (%) (4)
Kontroll (5)	192,1±4,7 <sup>c</sup>	19,01±0,1 <sup>b</sup>	27,4±2,0 <sup>b</sup>	14,28 <sup>c</sup>
N 0,3 g/l	198,2±5,7 <sup>b</sup>	19,91±0,4 <sup>a</sup>	30,4±2,0 <sup>a</sup>	15,35 <sup>b</sup>
N 1 g/l	203,5±3,0 <sup>a</sup>	20,36±0,2 <sup>a</sup>	33,5±0,8 <sup>a</sup>	16,48 <sup>a</sup>

Table 4. Effects of treatment with MACC-612 *Nostoc piscinale* cyanobacterium on the Zephir maize hybrid: average grain yield, 100 seed weight, average cob weight and grain/cob ratio. (1) Average grain yield (g cob<sup>-1</sup>), (2) 100 seeds weight (g), (3) Average cob weight (g), (4) Grain/cob ratio (%), (5) Control

## Következtetések

A kukorica vízigénye 450–550 mm (Nagy és Sárvári 2005), míg a kísérleti év vegetációs időszakában lehullott csapadék csupán 362 mm volt, ami 24,8 mm-

rel kevesebb az 50 éves átlagnál. A kukorica ideális fejlődéséhez nélkülözhetetlen a július-augusztusi nagyobb, kb. 100 mm csapadék (Pepó és Sárvári 2011). A kísérleti évben ennél kevesebb hullott: júliusban 20 mm, augusztusban 46 mm. A havi átlagos léghőmérséklet a vegetációs időszakban 1,7 °C-kal magasabb volt az 50 éves átlagnál (15,6 °C). A kukorica akkor éri el a legnagyobb termést, ha a nyári hónapokban 20–22 °C az átlaghőmérséklet (Berzsenyi 2012), ami a 2019-es vegetációs időszakban meghaladta a 22 °C-ot (22,2–23,0 °C). A 2019. év vegetációs időszakát a kevés csapadék, a szélsőséges csapadékeloszlás és ingadozó hőmérséklet jellemezte, ami gyakori stresszhelyzetet jelentett a kukorica számára.

A kezelések növelték a növények magasságát és a korai levélszámot, ami június vége (V12-V13) és július vége (R2-R3) között nagyobb fotoszintetizáló növényi felületet jelentett. A növények gyorsabb növekedéséhez és fejlődéséhez hozzájárult a megnövekedett friss-, és száraz gyökértömeg, ami nagyobb víz- és tápanyag-felvételt tett lehetővé a növények számára. Vinkovic et al. (2007) kísérletében Radiform® biostimulánsal kezelték kukorica növényeket. A 12 napos növények friss- és száraz tömege is növekedett (0,472 g és 0,040 g) a kontroll növényekhez viszonyítva (0,400 g és 0,030 g). Trivedi et al. (2017) *Kappaphycus alvarezii* tengeri algakészítménnyel különböző fenológiai fázisokban kezelték a kukorica növényeket. A száraz gyökér tömeget betakarítás után mérték, a legjobb eredményt az 5. és a 15. levél megjelenésekor kezelt kukorica növények adták (40,54 g/növény) a kontrollhoz képest (22,47 g/növény).

Kísérletünkben a kezelt növények 2. és 3. levelénél a SPAD-értékekkel kifejezett klorofill tartalom a vegetációs időszak átlagában – a 2. levélnél a 0,3 g/l kezelés kivételével – nőtt a kontrollhoz viszonyítva. Blunden et al. (1997) tengeri algakivonattal kezelt kukorica és más növények levelében mért magasabb klorofilltartalmat. A nagyobb klorofilltartalom a fényelnyelés és a fotoszintetikus képesség növekedését eredményezi. Vízhánystressz hatására viszont a lebomlás és a fotooxidáció csökkenti a kukorica klorofilltartalmát (Anjum et al. 2011). A klorofilltartalom csökkenése jelzi a stresszhatás okozta növényi károsodást, míg a változás hiánya a növény adott stresszel szembeni toleranciáját mutatja (Rahbarian et al. 2011). Kísérletünkben a számos környezeti stressz hatására a levelekben lévő klorofill időbeni ingadozását figyeltük meg, de az átlagos klorofilltartalom egy kezeléstől eltekintve meghaladta a kontroll átlagát.

A csapadékban szegény és vízhiánystressz időszakokban gazdag évben a *Nostoc piscinale* kezelések mindkét levélnél mintegy 3–6%-kal megnövelték az RWC értéket a kontrollhoz képest. Hasonló mértékű különbséget mért *Naghashzadeh* (2014) az öntözött (80,47%) és a szárazságstressznek kitett (74,65%) kukorica növények relatív víztartalom értékei között. *Zygielbaum et al.* (2009) üvegházban nevelt kukorica palántáinál a kontroll növények RWC tartalma 95,8% volt a hét napig nem öntözött kezeltéké pedig 92%.

A *Nostoc piscinale* kezelések szignifikánsan növelték (4,19–4,50  $\mu\text{mol/g}$ =483,9–519,7  $\mu\text{g/g}$ ) a kukorica levelek átlagos prolintartalmát a kontrollhoz képest (3,87–3,92  $\mu\text{mol/g}$ =446,9–452,7  $\mu\text{g/g}$ ), különösen a június vége és július vége közötti rendkívül száraz időszakban. *Shafiq et al.* (2019) hasonló prolinkoncentrációkat mértek nyolc különböző kukorica fajta öntözött és szárazságstressznek kitett növényein (1,5–3,5  $\mu\text{mol/g}$  friss tömeg). *Darkó et al.* (2012) kukorica DH vonal utódain vizsgálták a szárazság hatását fitotronban nevelt, virágzás előtt álló növényeken. A prolinkoncentráció növekedését mérték 26 °C-on (180  $\mu\text{g/g}$ ) és 35 °C-on (240  $\mu\text{g/g}$ ) nevelt növényeken a kontrollhoz képest (140  $\mu\text{g/g}$ ). A prolin felhalmozódása a sejtben negatívabb vízpotenciált, vagyis a növény nagyobb vízfellevő képességét eredményezi, ami növeli a növény vízhiánystressz tűrő képességét és hozzájárulhatott a levelek magasabb RWC értékéhez. Korábbi napraforgó, paprika, és repce kísérleteinkben is megfigyeltük, hogy a mikroalgával kezelt növények hosszabb öntözés nélküli időszakot tudtak túlélni, mint a kezeletlen kontroll növények.

A cianobaktérium kezelésre minden növényi válasz abba az irányba mutatott, ami a termés növekedéséhez vezetett: növénymagasság növekedése; korábbi levélképződés; nagyobb gyökértömeg; megnövekedett klorofill-, RWC- és prolintartalom. A *N. piscinale* mindkét koncentrációban nagyobb (8,379 és 8,675 t/ha) betakarított terméshozamot adott, mint a kontroll (8,140 t/ha). A kezelések növelték a csövek hosszát és a 100-mag tömeget, de a csőátmérőt a cianobaktérium 1 g/l koncentrációban kijuttatva csökkentette. A betakarításkor mért nagyobb termésmennyiség így hosszabb, de vékonyabb csöveken és nagyobb magvakban realizálódott. A tényleges termés és az egyedi produkció, vagyis a szemtermés és a csőszám szorzatából adódó termés között a különbség indokolatlanul jelentős, de a kontrollhoz viszonyítva (10 140 kg/ha) a kezelt növények termése (10 560 és 11 310 kg/ha) így még nagyobb (4,1% és 9,7%), mint a betakarított terméssel számolva (2,9% és 6,6%).



A kísérlet eredményei alapján megállapítható, hogy a gazdaságosságot is figyelembe véve az MACC-612 *Nostoc piscinale* cianobaktérium kijuttatása 0,3 g/l koncentrációban, vagyis 120 g/ha mennyiségben célszerű, mert biostimuláns hatásával kedvezően befolyásolta a vizsgált kukorica hibrid leveleinek klorofill-, prolin-, és relatív víztartalmát, növekedését és fejlődését, ami alig kevesebb terméshozamot eredményezett, mint az 1 g/l kezelés (400 g/ha). Mindazonáltal, a kedvező eredmények megerősítéséhez a kísérlet megismétlése szükséges.

### Irodalom

- Anjum, A. S.–Fatoog, M.–Wang, L. C.–Xue, L. L.–Wang, S. G.–Wang, L.–Zhang, S.–Chen, M.: 2011. Gas exchange and chlorophyll synthesis of maize cultivars are enhanced by exogenously-applied glycinebetaine under drought conditions. *Plant Soil Environ.* 57: 7: 326–331.
- Bates, L. S.–Waldren, R. P.–Teare, I. D.: 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant Soil.* 39: 205–207.
- Berzsenyi Z.: 2012. Kukorica. [In: Radics L. (szerk.) Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztéstan 2.] Agroiinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest. 11–101.
- Blunden, G.–Jenkins, T.–Liu, Y. W.: 1997. Enhanced leaf chlorophyll levels in plants treated with seaweed extract. *Journal of Applied Phycology.* 8: 535–543.
- Cabrera-Bosquet, L.–Molero, G.–Nogue's, S.–Araus, J. L.: 2009. Water and nitrogen conditions affect the relationships of  $\Delta^{13}\text{C}$  and  $\Delta^{18}\text{O}$  to gas exchange and growth in durum wheat. *Journal of Experimental Botany.* 60: 1633–1644.
- Craigie, J. S.: 2011. Seaweed extract stimuli in plant science and agriculture. *Journal of Applied Phycology.* 23: 371–393.
- Crouch, I. J.–van Staden, J.: 1994. Commercial seaweed products as biostimulants in horticulture. *J. Home Consumer Horticult.* 1: 19–75.
- Darkó É.–Ambrus H.–Barnabás B.: 2012. Oxidatív stressz-toleráns DH kukorica vonalak hideg- és szárazságtűrésének vizsgálata. <https://www.otka-palyazat.hu/download.php?type=zarobeszamolo&projektid=72542>, 2020.01.20.
- Hanway, J. J.: 1966. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service Ames, Iowa. September 1966. 48: 2–17.
- Khan, W.–Rayirath, U. P.–Subramanian, S.–Jithesh, M. N.–Rayorath, P.–Hodges, D. M.–Critchley, A. T.–Craigie, J. S.–Norrie, J.–Prithiviraj, B.: 2009. Seaweed extract as biostimulants of plant growth and development. *Journal of Plant Growth Regulation.* 28: 386–399.

- Metting, B.–Zimmerman, W. J.–Crouch, I. J.–van Staden, J.: 1990. Agronomic uses of seaweed and microalgae. [In: Akatsuka, I. (ed.) Introduction to Applied Phycology.] SPB Academic Publishing. The Hague. The Netherlands. 589–627.
- Naghashzadeh, M.: 2014. Response of relative water content and cell membrane stability to Mycorrhizal biofertilizer in maize. *Electronic Journal of Biology*. 10. 3: 68–72.
- Nagy J.–Sárvári M.: 2005. Gabonafélék. [In: Antal J. (szerk.) Növénytermesztés 1.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 301–328.
- Ördög, V.: 1982. Apparatus for laboratory algal bioassay. *Int. Revue der gesamten Hydrobiologie*. 67. 1: 127–136.
- Pepó P.–Sárvári M.: 2011. Gabonanövények termesztése. [https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010\\_1A\\_Book\\_09\\_Gabonanovények\\_termesztese/ch03s05.html](https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_09_Gabonanovények_termesztese/ch03s05.html) 2020.01.13.
- Rahbarian, R.–Khavari-Nejad, R.–Ganjeali, A.–Bagheri, A.–Najafi, F.: 2011. Drought stress effects on photosynthesis, chlorophyll fluorescence and water relations in tolerant and susceptible chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*. 53. 1: 47–56.
- Shafiq, S.–Akram, A. N.–Asharaf, M.: 2019. Assessment of physio-biochemical indicators for drought tolerance in different cultivars of maize (*Zea mays* L.). *Pakistan Journal of Botany*. 51. 4: 1241–1247.
- Stírk, W. A.–Ördög, V.–Novák, O.–Rolčík, J.–Strnad, M.–Bálint P.–van Staden, J.: 2013a. Auxin and cytokinin relationships in 24 microalgal strains. *Journal of Phycology*. 49. 3: 459–467.
- Stírk, W. S.–Bálint, P.–Tarkowská, D.–Novák, O.–Strnad, M.–Ördög, V.: 2013b. Hormone profiles in microalgae: Gibberellins and brassinosteroids. *Plant Physiology and Biochemistry*. 70: 348–353.
- Takács, G.–Stírk, W. A.–Gergely, I.–Molnár, Z.–van Staden, J.–Ördög, V.: 2019. Plant biostimulating effects of the cyanobacterium *Nostoc piscinale* on winter wheat in field experiments. *South African Journal of Botany*. 126: 99–106.
- Tóth, J.–Gergely, I.–Berzsenyi, Z.–Ördög, V.: 2019. Influence of *Nostoc entophyllum* and *Tetracystis* sp. on winter survival of rapeseed. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 9: 251–271.
- Trivedi, K.–Ananad, V. K. G.–Kubavat, D.–Kumar, R.–Vaghela, P.–Ghosh, A.: 2017. Crop stage selection is vital to elicit optimal response of maize to seaweed bio-stimulant application. *Journal of Applied Phycology*. 29: 2135–2144.
- Vinkovic, T.–Paradikovic, N.–Plavšić, H.–Guberac, V.–Levai, L.: 2007. Maize and soybean seed vigour under influence of seed age, seed treatment and temperature in cold stress test. VI. Alps-Adria Scientific Workshop. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 213–216.
- Zygielbaum, A. I.–Gitelson, A. A.–Arkebauer, T. J.–Rundquist, D. C.: 2009. Non-destructive detection of water stress and estimation of relative water content in maize. *Geophysical Research Letters*. 36: 1–4.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

\*Takács Georgina - Póthe Péter - Dr. Gergely István - Dr. Molnár Zoltán -  
Dr. Ördög Vince  
Széchenyi István Egyetem MÉK  
Növénytudományi Tanszék  
Mosonmagyaróvár  
Kolbai Károly u. 8.  
H-9200  
\*takacs.georgina@sze.hu

Dr. Nagy János  
Debreceni Egyetem MÉK  
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
nagyjanos@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

---

növénytermesztés | növénynevelés | növénygenetika | növényélettan | agrobotanika

---