

Crop
Production

HERMAN OTTÓ INTÉZET
NONPROFIT KFT.

NÖVÉNYTERMELÉS

69. kötet | 4. szám | 2020. december

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



Az agrometeorológiai
tényezők értékelése kukorica
(*Zea mays* L.)
tartamkísérletekben –
2019/2020

Eltérő genotípusú
csemegekukorica (*Zea mays* L.
convar. saccharata
Koern.) hibridek fenometriai
és terméselem vizsgálatának
eredményei

Eltérő hőmérsékletű és
időtartamú kezelések hatása
magyar burgonyafajták
gumónyugalmi idejére

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
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
www.hoi.hu - www.agrarlapok.hu
www.novenytermeles.hu

A kiadásért felelős Bozzay Péter,
a Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft. ügyvezetője

ISSN 0546-8191
Növényterm 69 (2020) 4
Printed in Hungary

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

69. kötet, 4. szám, 2020. december

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: KITE Zrt.

ISSN 0546-8191

TARTALOM

<i>Nagy Zoltán – Nagy János</i> : Az agrometeorológiai tényezők értékelése kukorica (<i>Zea mays</i> L.) tartamkísérletekben – 2019/2020	5
<i>Demeter Cintia – Széles Adrienn – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Nagy János</i> : Eltérő genotípusú csemegekukorica (<i>Zea mays</i> L. convar. saccharata Koern.) hibridek fenometriai és terméselem vizsgálatainak eredményei	23
<i>Esztergályos Ádám – Polgár Zsolt</i> : Eltérő hőmérsékletű és időtartamú kezelések hatása magyar burgonyafajták gumónyugalmi idejére	37
<i>Pál Magda – Beti Ivanovska – Darkó Éva – Svetlana P. Misheva – Janda Tibor – Nesma Elsayed – Radwan Khalil – Majláth Imre</i> : Putreszcinn által indu- kált válaszreakciók különbségei különböző <i>Rht</i> búza törzsekben ozmo- tikus körülmények között	57
<i>Pepó Péter – Ábrahám Éva Babett</i> : Trágyázás és öntözés hatása a szója (<i>Glycine max</i> L.) genotípusok termésére és vízhasznosítására eltérő évjáratok- ban	77
<i>Pepó Péter – Vad Attila – Török Tamás</i> : Az évjárat×öntözés speciális interaktív hatásai kukorica (<i>Zea mays</i> L.) tartamkísérletben	97
<i>Törő Ágnes – Ragán Péter – Harsányi Endre</i> : A szántás és a lazítás hatása a CO ₂ emisszióra kukorica talajon	119

CONTENTS

<i>Z. Nagy – J. Nagy</i> : Evaluation of agrometeorological factors in long-term maize (<i>Zea mays</i> L.) experiments – 2019/2020	5
<i>C. Demeter – A. Széles – Á. Illés – Cs. Bojtor – J. Nagy</i> : Results of phenometric and yield element studies of sweet maize (<i>Zea mays</i> L. convar. saccharata Koern.) hybrids of different genotype	23
<i>Á. Esztergályos – Zs. Polgár</i> : The effect of treatment of different temperature and duration on the tuber dormancy period of Hungarian potato cultivars	37

<i>M. Pál – B. Ivanovska – É. Darkó – S. P. Misheva – T. Janda – Nesma Elsayed – Radwan Khalil – I. Majláth: Differences in response induced by putrescine in various Rht lines under osmotic conditions</i>	57
<i>P. Pepó – É. B. Ábrahám: The effect of fertilisation and irrigation on the yield and water utilisation of soybean (Glycine max L.) genotypes in different crop years</i>	77
<i>P. Pepó – A. Vad – T. Török: The special interactive effects of crop year×irrigation in a maize (Zea mays L.) field experiment</i>	97
<i>Á. Törő – P. Ragán – E. Harsányi: The effect of ploughing and ripping on the carbon dioxide emission in a maize stand</i>	119

СОДЕРЖАНИЕ

<i>З. Надь – Я. Надь: Оценка агрометеорологических факторов в продолжительном опыте кукурузы (Zea mays L.) – 2019/2020</i>	5
<i>С. Деметер – А. Селеш – А. Иллеш – Ч. Бойтор – Я. Надь: Результаты исследования элементов урожая и фенометрии гибридов сахарной кукурузы (Zea mays L. convar. saccharata Коern.) различного генотипа</i>	27
<i>А. Эстергайош – Ж. Полгар: Влияние обработок различной температуры и продолжительности на довсходовый период венгерских сортов картофеля</i>	37
<i>М. Пал – Б. Ивановска – Э. Дарко – С. Р. Мишева – Т. Янда – Несма Элсаед – Радван Халил – И. Майлат: Различия ответных реакций, вызванных путресцином, в разных Rht родах пшеницы в осмотических условиях</i>	57
<i>П. Пено – Э. Б. Абрахам: Влияние внесения удобрения и орошения на урожай и водопользование генотипов сои (Glycine max L.) в различные годы выращивания</i>	77
<i>П. Пено – А. Вад – Т. Тёрёк: Специальные интеракционные влияния года выращивания×орошение в продолжительном опыте кукурузы (Zea mays L.)</i>	97
<i>А. Тёрё – П. Раган – Э. Харшани: Влияние вспашки и рыхления на эмиссию CO₂ на кукурузной почве</i>	119

Az agrometeorológiai tényezők értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletekben – 2019/2020

NAGY ZOLTÁN - NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Az időjárás évről-évre történő változékonysága kockázati tényezőt jelent a kukorica termésmennyiségének alakulására. Különösen a szélsőségesebb hőmérsékleti és csapadékviszonyok, illetve ezek kedvezőtlen kombinációi, főleg a kukorica egyes kritikus fejlődési fázisaiban, nagyban befolyásolják a termés mennyiségét, így érthető, hogy az alapvető meteorológiai paraméterek évről-évre történő nyomon követése nélkülözhetetlen az adott évjárat termésátlagainak értékelésénél.

A Debrecen-Látóképen 1983-ban alapított tartamkísérletek eredményei, illetve a kapcsolódó meteorológiai megfigyelések olyan adatbázist képeznek, melyek biztos alappal szolgálnak az időjárás viszonyok termésátlagokra gyakorolt hatásának vizsgálata során. Jelen összefoglalóban, folytatva a korábbi évek gyakorlatát, a 2020-as év tenyészidőszak illetve a megelőző őszi-téli időszak időjárás viszonyait vettük górcső alá.

Az elemzés eredményeképpen megállapítottuk, hogy a 2020-as tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszakot szélsőségesnek tekinthető eloszlásban, az átlagosnál kissé nagyobb csapadék összeg jellemezte, amely csapadékviszonyokhoz, 2020 januárjától eltekintve, az átlagosnál melegebb hőmérsékleti viszonyok párosultak.

A vetés-kelés időszakában a jelentős csapadékhiány és az átlagosnál hűvösebb időjárás kedvezőtlenül hatott a kukorica fejlődésére, mely körülmények egészen május végéig jellemzőek voltak. Ezt követően a bőséges csapadék és az átlagos, hőhullámoktól mentes hőmérsékleti viszonyok, az intenzív vegetatív szakasztól kezdődően kedvező feltételeket biztosítottak a kukorica fejlődéséhez. A szeptember nagy részét jellemző

tartósan száraz és meleg időjárás segítette az érés folyamatát, melynek végső fázisát az időjárás hűvösre, csapadékosra fordulása kedvezőtlenül befolyásolta.

Kulcsszavak: kukorica, időjárás, csapadék, hőmérséklet, hőösszeg

Evaluation of agrometeorological factors in long-term maize (*Zea mays* L.) experiments – 2019/2020

Z. NAGY – J. NAGY

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

Institute of Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

Summary

The yearly variability of the weather is a risk factor for maize yields. In particular, extreme temperature and precipitation conditions or their unfavorable combinations, especially at certain critical developmental stages of maize, greatly influence yields, i.e. it is evident that yearly monitoring of basic meteorological parameters is essential to study maize development.

The results of the long-term experiments at Debrecen-Látókép, established in 1983, and the related meteorological observations form a database that serves as a reliable basis for examining the effect of weather conditions on yield averages. In this summary, continuing the practice of previous years, we examined the weather conditions of the growing season of 2020 and the previous autumn-winter period.

As a result of the analysis, we found that the autumn-winter period before the 2020 growing season was characterised by a slightly higher-than-average precipitation in an extreme distribution, which was accompanied by significantly warmer-than-average temperature conditions, especially in the autumn months of 2019.

During the sowing-germination period, significant rainfall deficits and cooler-than-average weather adversely affected the development of maize, which lasted until the end of May. Subsequently, abundant rainfall and average heat wave-free temperature conditions provided favorable conditions for the development of maize from the intensive vegetative stage. The persistently dry and warm weather that characterised most of

September helped the ripening process, the final phase of which was adversely affected by the weather turning cold and rainy.

Key words: maize, weather, precipitation, temperature, heat sum

Оценка агрометеорологических факторов в продолжительном опыте кукурузы (*Zea mays* L.) – 2019/2020

З. НАДЬ – Я. НАДЬ

Дебреценский Университет

Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и Экологического Менеджмента,
Институт Землепользования, Технический и Развития Территорий, Дебрецен

Резюме

Наблюдаемая из года в год изменчивость погоды означает фактор риска для формирования количества урожая кукурузы. Особенно более экстремальные условия температуры и осадков, а также их неблагоприятные комбинации, главным образом в некоторых критичных фазах развития кукурузы, в большой мере влияют на количество урожая, так понятно, что происходящее ежегодно отслеживание основных метеорологических параметров неизбежно для исследования развития кукурузы.

Результаты установленного в Дебрецен-Латокейп (Debrecen-Látókép) в 1983 году продолжительного опыта, а также связанные с этим метеорологические наблюдения представляют собой такую базу данных, которая служит надёжной основой в ходе исследования влияния погодных условий, оказанного на средние урожаи. В данной статье, продолжая практику предыдущих лет, рассматриваем погодные условия в вегетационный период 2020 года и в предшествующий осенне-зимний период также.

В результате анализа установили, что предшествующий вегетационному периоду 2020 года осенне-зимний период можно рассматривать экстремальным в распределении осадков по сравнению со средним, чуть большая сумма осадков была характерна, и кроме января 2020 года, более тёплая погода, в основном осенью 2019 года, соединялась с более тёплыми температурными условиями.

В период посева-всхода значительный недостаток осадков и прохладнее, чем средняя погода, неблагоприятно влияли на развитие кукурузы, что было характерно до самого конца мая. После этого обильные осадки и средние, без жары температурные условия, начиная с интенсивного вегетативного периода для развития кукурузы. Характерная для большей части сентября продолжительная сухая и тёплая погода помогла процессу созревания, на последнюю стадию чего неблагоприятно повлияло изменение погоды на холодную, дождливую погоду.

Ключевые слова: кукуруза, погода, осадки, температура, сумма тепла

Bevezetés

Debrecen-Látóképen 1983-ban beállított szántóföldi tartamkísérlet időjárási viszonyainak értékelését a Debreceni Egyetem Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet által a telephelyen 2019 májusa óta működtetett meteorológiai mérőállomás adatai alapján végeztük el. A mérőállomás 10 perces gyakorisággal, real-time adatelérési lehetőséggel gyűjti a léghőmérsékleti, a csapadék, a napsugárzási és a talajhőmérséklet adatokat. A 2020-as tenyészidőszak viszonyainak vizsgálatát célszerű az időszakot megelőző 2019–2020-as őszi-téli időszak meteorológia jellemzésével kezdeni, mivel ezen időszakban lehulló csapadék mennyisége meghatározza a 2020-as tenyészidőszak induló vízkészletét. A 2019–2020-as őszi-téli időszak esetében az elemzést alapvetően a havi átlagok illetve összegek alapján végeztük, míg a tenyészidőszak esetében bizonyos, a kukorica fejlődése szempontjából kritikus időszakokban a dekád átlagos bontást használtuk. Az elemzés során a sokéves átlagok az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecenre vonatkozó harmonizált adatsoraiból származnak az 1981–2010-es referencia időszakra vonatkozóan.

A 2019–2020-as őszi-téli időszak meteorológiai viszonyai

A 2020-as tenyészidőszakot megelőző féléves időszakot az átlagosnál melegebb időjárás jellemezte, ami az átlagosnál valamivel nagyobb csapadék mennyiséggel párosult. A téli időszakban szinte alig hullott hó, csupán december elején egy-két nap időtartamig alakult ki lepel méretű hótakaró. Az átlagosnál enyhébb időjárás következtében a talaj felső 20 cm-es rétege csupán január-

ban került fagyott állapotba, amely csökkentette a növényi kártevők túlélési esélyeit.

Léghőmérséklet

Az elemzések alapja a napi és a havi átlaghőmérsékletek adatok (1. ábra, 1. táblázat). A havi átlaghőmérsékletek sokéves átlagoktól számított eltérései alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgált fél éves időszak hőmérsékleti viszonyai jellemzően pozitív anomáliát mutattak. A pozitív anomália mindhárom őszi hónapot egységesen jellemezte, különösen a novemberet, amikor egyes napokon az átlaghőmérséklet megközelítette a 15 °C-ot.

1. ábra. A napi átlaghőmérsékletek menete (2019. 10. 01.–2020. 03. 31.)

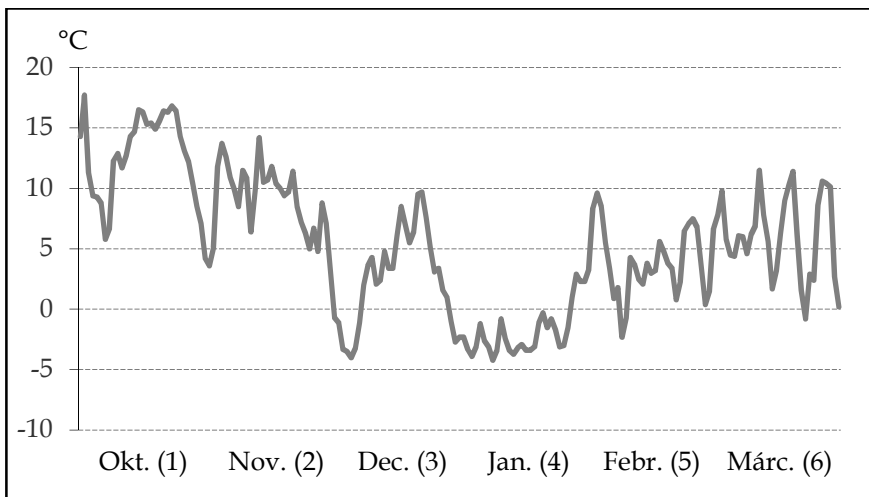


Figure 1. Daily mean temperatures (01. 10. 2019–31. 03. 2020). (1) October, (2) November, (3) December, (4) January, (5) February, (6) March

A 2020-as év első három hónapja már vegyesebb képet mutat. A januári átlaghőmérséklet 0,4 °C-kal volt alacsonyabb, mint a sokéves átlag és a teljes januári időszakra a negatív napi átlaghőmérsékletek voltak jellemzőek. A februári havi átlag hőmérséklet újból egy jelentős pozitív anomáliát mutatott. A március hónapot az átlagosnál hidegebb időjárás jellemezte, megtorpanást idézve elő a februárban megindult erőteljes melegedési tendenciában, amely eredményeként március legvégén komoly éjszakai fagyok alakultak ki.

1. táblázat. A 2019–2020-as őszi téli időszak havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék összegeinek alakulása és eltéréseik a sokéves átlagoktól

Hónap (1)	Hőmérséklet (°C)			Csapadék (mm)		
	(2)		Eltérés (6)	(3)		Eltérés (6)
	Aktuális (4)	Sokéves átlag (5)		Aktuális (4)	Sokéves átlag (5)	
Október (7)	12,6	10,6	2,0	23,3	37,9	-14,6
November (8)	9,0	4,6	4,4	84,3	41,6	42,7
December (9)	2,6	-0,1	2,7	53,6	43,7	9,9
Január (10)	-1,8	-1,4	-0,4	24,2	29,7	-5,5
Február (11)	3,9	0,2	3,7	42,4	31,0	11,4
Március (12)	6,1	5,3	0,8	34,3	30,2	4,1

Table 1. Changes in monthly average temperatures and precipitation amounts for the autumn winter period 2019–2020 and their differences from the multi-year averages. (1) Month, (2) Temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Current, (5) Multi-year average, (6) Difference, (7) October, (8) November, (9) December, (10) January, (11) February, (12) March

Talajhőmérséklet

A 20 cm-es talajhőmérsékleti értékek, január kivételével, jellemzően a pozitív tartományban maradtak (2. ábra). Ugyanakkor januárban a negatív léghőmérsékleti anomália a talajban is érezte a hatását, ami a 20 cm-es mélységig gyakorlatilag egész januárban fagyott talajviszonyokat eredményezett, csökkentve a talajban áttelelő növényi kártevők túlélési esélyeit.

Csapadék

A növénytermesztés eredményessége függ a csapadék viszonyok alakulásától (Szász 1988, Gombos és Nagy 2019, Nagy et al. 2020). Az adatok alapján megállapíthatjuk, hogy az említett időszakot nagyjából átlagosnak tekinthető csapadék viszonyok jellemezték. Jelentősebb kilengések, csak október-novemberben jelentkeztek. Az októberi száraz időszakot, az azt követő, átlagosnál csapadékosabb november kompenzálta. Az időszak során többször fordult elő 10 mm-t megközelítő, vagy azt meghaladó napi csapadékösszeg, ami eredményeképpen a féléves időszak teljes csapadék bevitelére 262,1 mm adódott, ami a 214,1 mm-es sokéves átlaghoz viszonyítva mintegy egyhavi plusz csapadék mennyiséget jelentett. Az említett csapadék jellemzően eső volt, jelentő-

sebb és tartósabb hótakaró az említett időszakban nem alakult ki. Amennyiben feltételezzük, hogy átlagos csapadék viszonyokkal rendelkező évben tavasz kezdetén a talajnedvesség szempontjából telítés közeli állapot van, akkor ennek alapján valószínűsíthetjük, hogy ezek a viszonyok az idei évre is érvényesek voltak (3. ábra, 1. táblázat).

2. ábra. A 20 cm-es talajhőmérséklet napi átlagainak menete
(2019. 10. 01.–2020. 03. 31.)

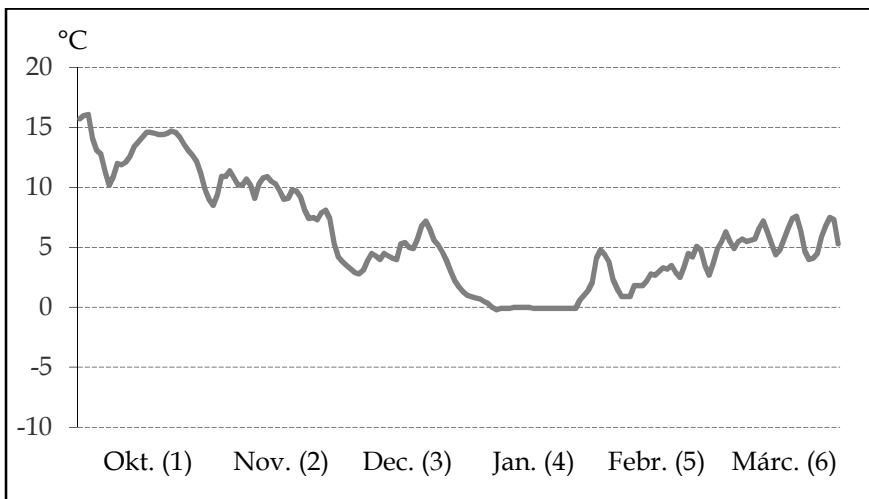


Figure 2. Daily average temperatures of the 20 cm soil layer (01. 10. 2019–31. 03. 2020). (1) October, (2) November, (3) December, (4) January, (5) February, (6) March

Napsugárzás

A globálsugárzás napi összegeinek menetét követhetjük nyomon a 4. ábrán. A napsugárzási viszonyok is megerősítik a 2019-es októberi hónap jelentős pozitív hőmérsékleti anomáliáját illetve csapadékszegény jellegét. A 4. ábráról ugyancsak leolvasható, hogy idén márciusban, főleg középső időszakában, a besugárzási viszonyok átlag felett alakultak. A fentiek alapján megállapíthatjuk, hogy az őszi időszak pozitív hőmérsékleti anomália értékei októberben besugárzási, míg november-decemberben advekcións okokkal magyarázhatók.

3. ábra. A napi csapadékösszegek menete (2019. 10. 01.–2020. 03. 31.)

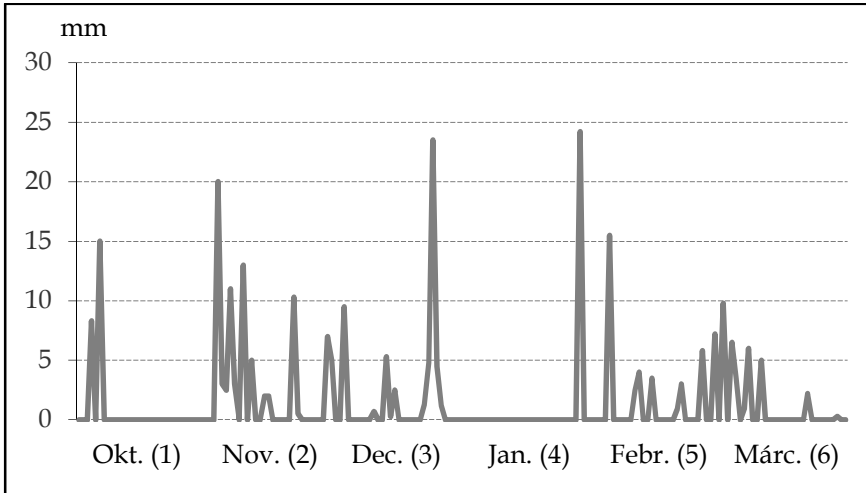


Figure 3. Daily precipitation sums (01. 10. 2019–31. 03. 2020). (1) October, (2) November, (3) December, (4) January, (5) February, (6) March

4. ábra. A globálsugárzás napi összegeinek menete (2019. 10. 01.–2020. 03. 31.)

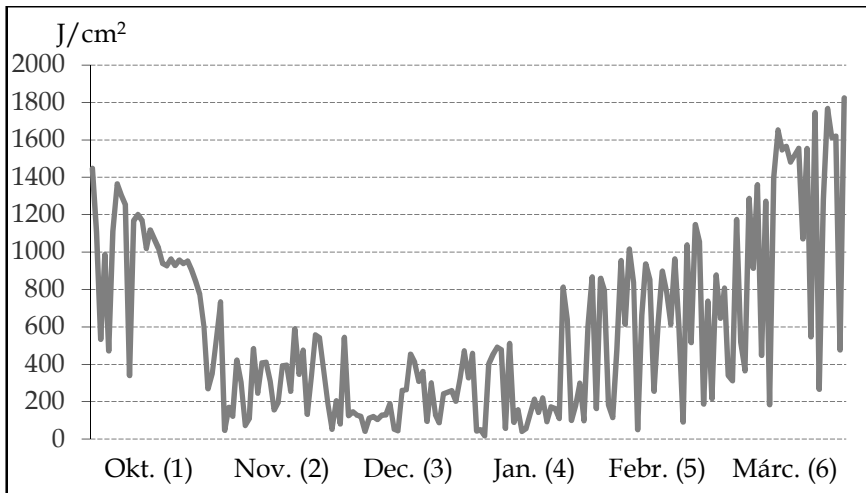


Figure 4. Daily sums of global radiation (01. 10. 2019–31. 03. 2020). (1) October, (2) November, (3) December, (4) January, (5) February, (6) March

A 2020-as tenyészidőszak meteorológiai viszonyai

A 2020-as tenyészidőszak meteorológia viszonyainak elemzésekor általánosságban elmondható, hogy az időjárási körülmények 2020-ban összességében kifejezetten kedvezőek voltak a kukorica termesztés szempontjából. Ahogy az előzőekben láthattuk, a 2020-as tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszak az átlagosnál enyhébb hőmérsékleti viszonyai mellett elegendő mennyiségű csapadékot biztosított a talaj induló vízkészletének szempontjából. A vetés-keles időszakától eltekintve az azt követő időszak szinte ideális körülményeket biztosított a kukorica fejlődése szempontjából, mely körülmények várhatóan egy kiemelkedően jó évet eredményeznek a termés mennyiségét tekintve. Az időjárási viszonyok áttekintése során a teljes időszakot a vetés-keles, az intenzív növekedés, a virágzás, a megtermékenyülés, valamint a szemtelítődés és a teljes érés időszakára bontottuk (2. táblázat, 5–8. ábra).

2. táblázat. A 2020-as tenyészidőszak havi átlaghőmérsékleteinek és csapadék összegeinek alakulása és eltéréseik a sokéves átlagoktól

Hónap (1)	Hőmérséklet (°C)			Csapadék (mm)		
	(2)			(3)		
	Aktuális (4)	Sokéves átlag (5)	Eltérés (6)	Aktuális (4)	Sokéves átlag (5)	Eltérés (6)
Április (7)	10,8	11,2	-0,4	16,5	52,8	-36,3
Május (8)	14,0	16,6	-2,6	45,0	64,0	19,0
Június (9)	19,7	19,3	0,4	118,5	66,5	52,0
Július (10)	21,0	21,3	-0,3	148,5	66,1	82,4
Augusztus (11)	22,6	20,8	1,8	70,0	49,0	21,0
Szeptember (12)	17,9	15,9	2,0	50,1	47,5	2,6

Table 2. Monthly average temperatures and precipitation amounts for the 2020 growing season and their difference from multi-year averages. (1) Month, (2) Temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Current, (5) Multi-year average, (6) Difference, (7) April, (8) May, (9) June, (10) July, (11) August, (12) September

5. ábra. A napi átlaghőmérsékletek menete
(2020. 04. 01.–2020. 09. 30.)

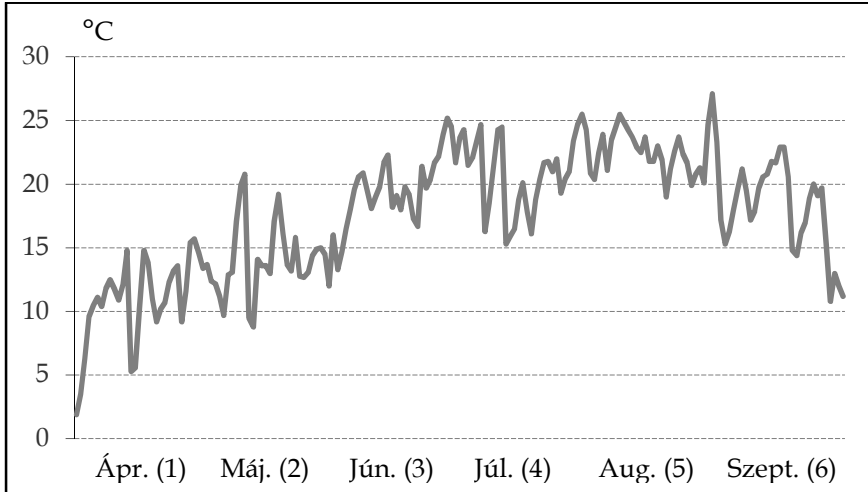


Figure 5. Daily mean temperatures (01. 04. 2020–30. 09. 2020). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

6. ábra. A 20 cm talajhőmérséklet napi átlagainak menete
(2020. 04. 01.–2020. 09. 30.)

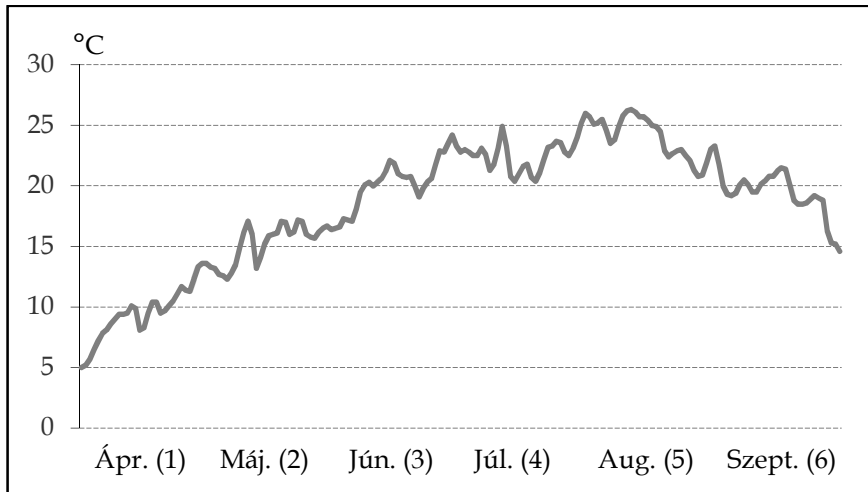


Figure 6. Daily average temperatures of the 20 cm soil layer (01. 04. 2020–30. 09. 2020). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

7. ábra. A csapadék napi összegeinek menete
(2020. 04. 01.–2020. 09. 30.)

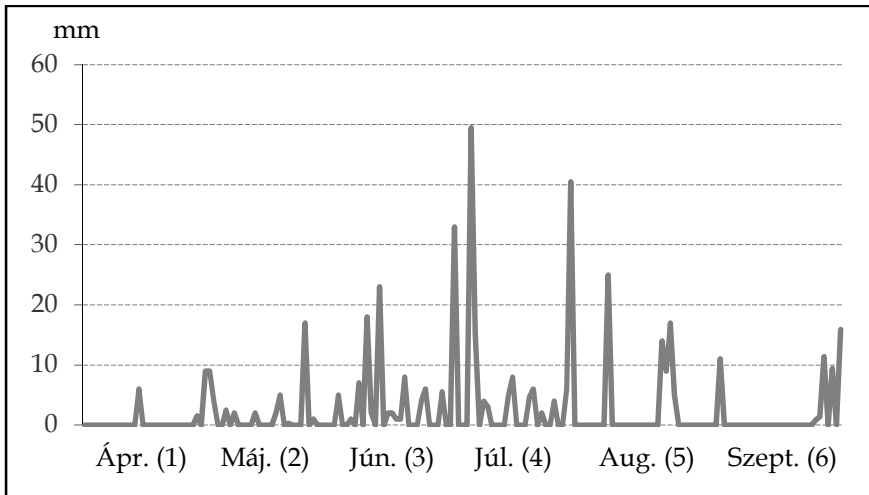


Figure 7. Daily precipitation sums (01. 04. 2020–30. 09. 2020). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

8. ábra. A globálsugárzás napi összegeinek menete
(2020. 04. 01.–2020. 09. 30.)

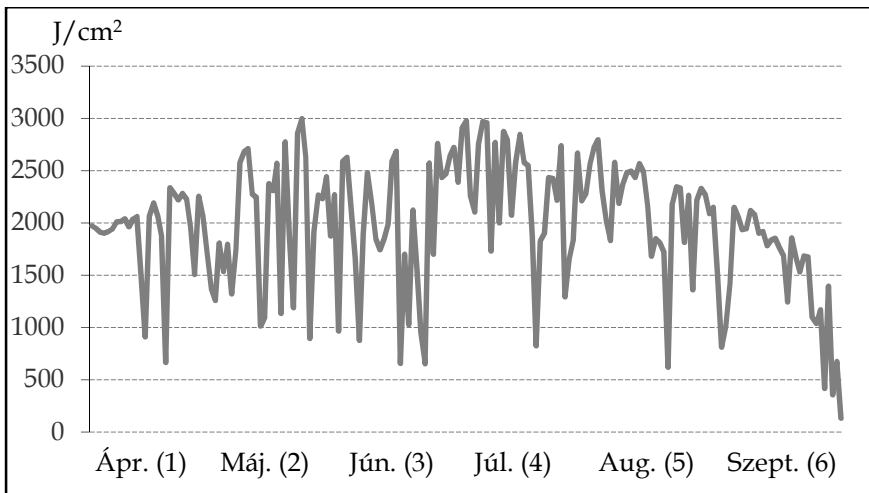


Figure 8. Daily sums of global radiation (01. 04. 2020–30. 09. 2020). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

Agrometeorológiai tényezők értékelése

Vetés-kelés időszaka (április-május)

A 2020-as szezonban a kukorica vetésére április utolsó dekádjában került sor. Az időjárási viszonyok, főleg a csapadék mennyiségének szempontjából, nem voltak kedvezőek. Értékelhető mennyiségű csapadék március közepétől április végéig nem hullott, így az áprilisi 16,5 mm-es havi csapadékösszeg jelentősen elmaradt az 52,8 mm-es sokéves átlagtól. A kelés időszakában szerencsére két 10 mm-t megközelítő csapadék javított a felső talajrétegek addigra már erősen kiszáradt állapotán. Az időjárás csapadékhiányos jellege egészen május végéig megmaradt. A vetés-kelés időszakának hőmérsékleti viszonyai szintén kedvezőtlenül alakultak, mivel az átlagosnál kissé hűvösebb áprilist ($-0,4$ °C havi átlaghőmérsékleti anomália) egy kifejezetten hűvös május követett. A májusi havi átlaghőmérséklet $2,6$ °C-kal maradt el a sokéves havi átlaghőmérséklettől, amely körülmény természetesen a talaj felső rétegeinek hőmérsékleti viszonyaira is kedvezőtlenül hatott, hátráltatva a kelésben lévő kukorica fejlődését. A besugárzási viszonyok az átlagosnál hűvösebb időjárás ellenére a sokéves átlag szerint alakultak, amely körülmény némiképp kompenzálhatta az átlagosnál hűvösebb hőmérsékleti viszonyok hatását. Májusban többször is tapasztalhattuk a hőmérséklet jelentősebb visszaesését, melynek eredményeként, az éjszakai minimum hőmérsékletek sok esetben a 8 °C bázishőmérséklet alatt alakultak. A 2 m-es magasságban mérhető abszolút minimum hőmérsékletet május 13-án regisztráltuk melynek értéke $1,5$ °C volt. Ezen körülmények miatt a hőösszeg értékek is kedvezőtlenül alakultak, mely hatására a kukorica kelést követő fejlődési dinamikája az átlagosnál lassúbb volt.

Az intenzív növekedés időszaka (június)

A vetés-kelés időszakának aránylag kedvezőtlen körülményei júniusra, a kukorica intenzív fejlődési szakaszára, gyökeresen megváltoztak. A korábbi hűvös és csapadékszegény időjárást egy átlagos hőmérsékletű, csapadékban gazdag június váltott. A 15 csapadékos napon összesen 118,5 mm csapadék hullott, ami közel kétszerese volt a 66,5 mm-es sokéves havi csapadékösszegnek. Közelítőleg egyenletes időbeli eloszlásban többször hullott nagyobb mennyiségű csapadék, biztosítva a csapadék mélyebb talajrétegekbe történő lejutását. A kedvező csapadékviszonyok átlagos hőmérsékleti és besugárzási viszonyokkal párosultak. Az idei év júniusában elmaradtak a korábban tapasztalt jelentő-

sebb hőhullámok, amely eredményeképpen a napi maximum hőmérsékletek jellemzően nem haladták meg a 25 °C-t, sőt a hónap közepén többször csupán 20 °C körüli maximum értékeket regisztrálhattunk. Melegebb időszak csupán a hónap utolsó dekádjában fordult elő 25 °C napi átlag, illetve 30 °C körüli maximum hőmérsékleteket eredményezve. A kedvező időjárási körülmények hatására a kukorica növekedése intenzív volt, s a hónap végére gyakorlatilag elérte maximális növekedési magasságát.

Virágzás, megtermékenyülés (július 1–20.)

A kukorica esetében a várható termés mennyiségét alapvetően meghatározzák a virágzás és megtermékenyülés körüli időszak időjárási viszonyai. Az ebben az időszakban jelentkező szárazság párosulva a 30 °C-t meghaladó napi hőmérsékleti maximumokkal, jelentősen ronthatják a várható termésmennyiséget. Az említett közel három hét időjárási viszonyait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy lényegében folytatódott a júniusra jellemző időjárás, vagyis átlagosnak tekinthető hőmérséklettel valamint napsugárzásban gazdagabb viszonyokkal párosuló, bőséges csapadék mennyiség. A káros hatással bíró szélsőséges hőmérsékletek ebben az időszakban is elmaradtak, és csupán az időszak első tíz napjára voltak jellemzőek 30 °C körüli maximum hőmérsékletek, míg az időszak második felében sokszor 25 °C-ot sem mérhettünk. Jellemző az időszak második felének átlag alatti hőmérsékleti viszonyaira, hogy július 14-én éjszaka a hőmérséklet 10 °C alá süllyedt, 8,3 °C minimum hőmérsékletet eredményezve. Általánosságban elmondható, hogy az évnek ezen időszakához kötődnek a legnagyobb besugárzási értékek. Ebben az időszakban, bizonyos szinoptikus helyzetekben, az átlagosnál alacsonyabb sztratoszférikus ózonmennyiség, jelentősen megemelheti az UV-B sugárzás erősségét. Annak ellenére, hogy a 2020-as tenyészidőszakban az átlagosnál nagyobb volt az időszakban leérkező napsugárzási energia a makroszinoptikus helyzetek alakulása miatt ez nem párosult az UV-B sugárzás megemelkedett dóziséval. A körülmény, amely átlagostól eltérővé tette július első két dekádját, az a lehullott csapadék mennyisége volt. Az időszak 100 mm-t megközelítő csapadék összege már önmagában jóval meghaladta a júliusi átlagos 66,1 mm-es havi csapadék összeget. Mindezeket tekintetbe véve a kukorica virágzásának, megtermékenyülésének időszaka hőstressz mentesen, bőséges csapadéklátottság mellett, időjárási szempontból közel ideális körülmények között zajlott le.

A generatív szakasz (július–szeptember)

Az előzőekben már áttekintettük július első két dekádjának alapvető időjárási viszonyait, melyek a hónap utolsó időszakában sem változtak lényegesen. A harmadik dekád szinte tükörképe a hónap első tíz napjának, melyet továbbra is a bőséges csapadék és az időszaknak megfelelő 30 °C körüli napi maximum hőmérsékletek jellemeztek. A júliusi 21,0 °C havi átlaghőmérséklet csupán 0,3 °C-kal maradt el a sokéves átlagtól, ugyanakkor a 148,5 mm-es havi csapadék összeg egyértelműen kimagasló érték, amelynél magasabbat az elmúlt 41 év során csupán két alkalommal, 2004-ben, illetve 2012-ben mértünk. A teljeség kedvéért meg kell jegyeznünk, hogy az említett kirívó érték alapvetően két, összességében 90 mm-es csapadékot produkáló eseményhez kapcsolódott. Augusztusban a csapadék viszonyok mind mennyiség mind időbeli eloszlás tekintetében továbbra is kedvezően alakultak, így a havi 70 mm-es csapadékösszeg még mindig meghaladta a 49 mm-es sokéves átlagot. Hőmérsékleti szempontból vizsgálva az augusztus hónapot megállapíthatjuk, hogy ezen időszak volt a 2020-as tenyészidőszak legmelegebb periódusa. A 22,3 °C havi átlaghőmérséklet közel 2 °C-kal volt magasabb, mint a 20,8 °C sokéves havi átlag. A napi hőmérsékleti maximumok a legtöbbször megközelítették, vagy elérték a 30 °C-ot, és a nyári időszak legmagasabb napi maximum értékeit is ebben a hónapban, annak utolsó napjain mérhettük, 35 °C-ot megközelítő értékkel. Szeptemberben folytatódott az augusztusi időszakot jellemző, átlagosnál melegebb időjárás, amely kedvező sugárzási viszonyokkal párosult. A hőmérsékleti maximumok, főleg a hónap középső időszakában gyakran megközelítették a 30 °C-ot, így a havi átlaghőmérséklet 2 °C-kal meghaladta a sokéves átlagot. A csapadékviszonyokat tekintve, a hónap nagy részét csapadékmentes, száraz időszak jellemezte. Eltekintve a hónap első két napjától, a hónap során a legutolsó napokig nem hullott csapadék. Ezek az időjárási körülmények kedvezően befolyásolták a kukorica érési folyamatait. A szeptember döntő részét jellemző meleg, száraz időszakot a hónap végén egy kifejezetten hűvös és csapadékos időszak váltotta, amely október hónapban is erősen éreztette a hatását. Annak ellenére, hogy szeptember hónap nagy részét a csapadék mentesség jellemezte, a hónap végén megérkezett csapadékos időszak hatására a havi csapadékmennyiség átlagos érték körül alakult (lásd. 2. táblázat).

A 2020-as tenyészidőszak effektív hőösszegének alakulása

Tapasztalati tény, hogy a kukorica vegetációs időszakának hőösszege nagyban befolyásolja a termés mennyiségét, így a csapadékviszonyok mellett a hőösszeget tekinthetjük a termés mennyiségét jelentős mértékben befolyásolni képes időjárási paraméternek. Ahogy korábban láthattuk, a 2020-as tenyészidőszak döntő részét bőséges csapadék viszonyok jellemezték, így a következőkben röviden elemezzük a hőösszeg alakulását, amely a csapadék mellett a másik fontos paraméter a kukorica fejlődése szempontjából. A szakirodalomban a hőösszeg számítására számos eljárás létezik, ezért jelen összefoglalónkban azt a két képletet használjuk, melyekkel legtöbbször találkozhatunk a hőösszeg számítások során. Mindkét képlet esetében az effektív hőösszeg számításához 8 °C-os bázishőmérsékletet alkalmaztunk. Az első képlet a napi minimum és maximum, míg a második az óras hőmérsékleti értékekből számított napi átlaghőmérsékletet használja, mely értékeket mindkét esetben a bázishőmérséklettel korrigáljuk. Ezen napi hőmérséklet értékek tenyészidőszakra vett összege adja az effektív hőösszeg értékét.

$$HÖ(1) = \sum_{n=1}^i [(t_{min} + t_{max})/2 - t_b]$$

ha: $t_{min} < t_b$, akkor $t_{min} = t_b$, $t_{max} < t_b$, akkor $t_{max} = t_b$;

$$HÖ(2) = \sum_{n=1}^i [t_{napi} - t_b]$$

ahol: t_{min} - napi hőmérsékleti minimum, t_{max} - napi hőmérsékleti maximum, t_{napi} - óras adatokból számított napi átlag, t_b - bázishőmérséklet, i - tenyészidőszak napjainak száma.

A két képlettel számított hőösszegeknek a tenyészidőszak során történő alakulását a 9. ábrán láthatjuk. Annak ellenére, hogy a két képlet szerint számított értékek futása párhuzamos, a teljes tenyészidőszakra számított hőösszeg értékekben egy közel 100 °C-os eltérés mutatkozik. (Első képlet 1877 °C/tenyészidőszak, második képlet 1774 °C/tenyészidőszak). Mivel az óras adatokkal számított napi átlaghőmérséklet egyértelműen pontosabb, ezért az idei szezonra az 1774 °C/tenyészidőszak értéket fogadjuk el.

9. ábra. A 2020-as tenyészidőszak effektív hőösszegeinek menete

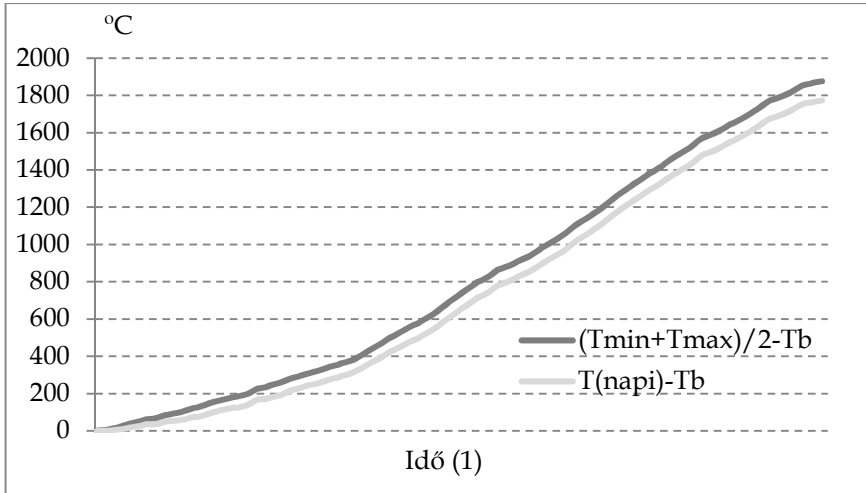


Figure 9. Effective heat sums of 2020. (1) Time

Amennyiben az ideai tenyészidőszak hőösszeg viszonyait az 1981–2010-es referencia időszak átlagára vonatkozó hőösszeg értékek tükrében vizsgáljuk, akkor megállapíthatjuk, hogy a teljes tenyészidőszakot tekintve az ideai év, illetve a 30 év átlaghőmérsékleteiből számított hőösszeg értékek közel azonosak, (2020: 1774 °C, 1981–2010: 1792 °C), így az ideai év hőösszeg viszonyai összességében átlagosnak tekinthetők (10. ábra). Annak ellenére azonban, hogy a teljes tenyészidőszak hőösszege átlagosnak tekinthető, az időszak egyes szakaszai az átlagostól jelentősebb eltéréseket mutatnak, amit a 11. ábrán egyértelműen nyomon követhetünk, ahol a 2020-as tenyészidőszak illetve az 1981–2010 referencia időszak dekádonkénti hőösszeg változásait ábrázoltuk. A 11. ábra alapján megállapíthatjuk, hogy a keléstől a június végéig tartó időszakban a hőösszeg akumulálódása az átlagosnál egyértelműen lassúbb volt, ami június harmadik dekádjának kezdetén az átlaghoz képest több mint 100 °C hiányt okozott az effektív hőösszeg értékében. Június harmadik dekádjától a hőösszeg növekedése erősödött, ám sajnos ez a tendencia július közepén egy erőteljesebb hűvös periódus hatására újból jelentősen megtorpant. A július utolsó dekádjára kialakult hőösszeg-hiány a tenyészidőszak hátralévő időszakában, köszönhetően az átlagosnál melegebb időjárási viszonyoknak, fokozatosan csökkent, melynek eredményeképpen szeptember végén a hőösszeg értékek „beérték” az átlagos szintet.

10. ábra. A tenyészidőszak effektív hőösszegeinek 2020-as és sokéves átlagának menete

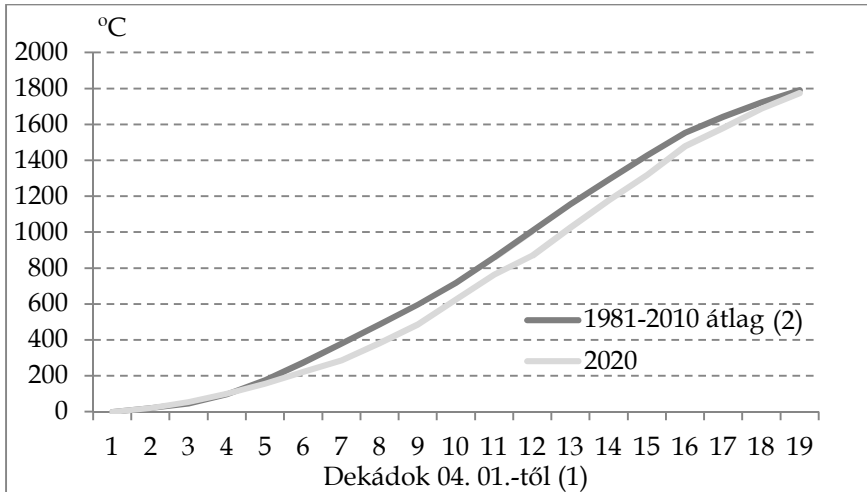


Figure 10. The average heat sums of the growing season in 2020 and the multi-year average. (1) 10-day periods from 01/04/2020, (2) 1981-2010 average

11. ábra. Az effektív hőösszeg dekádonkénti változása

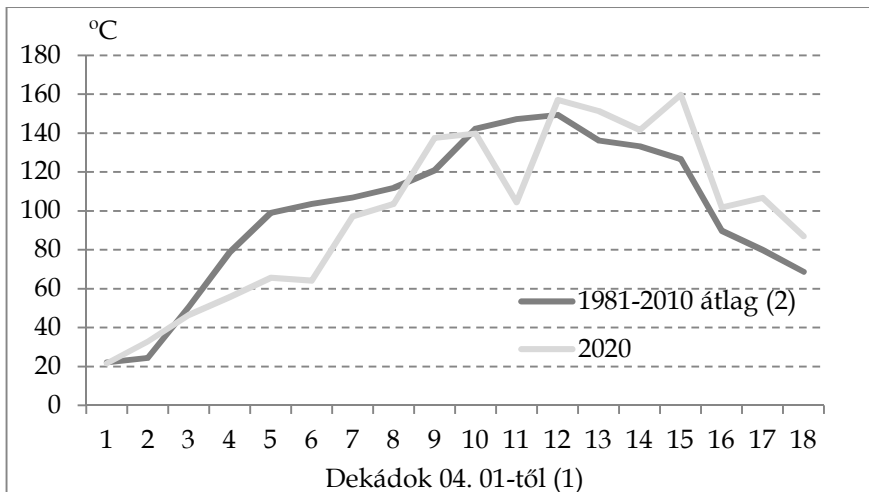


Figure 11. Change of the effective heat sum in each 10-day period. (1) 10-day periods from 01/04/2020, (2) 1981-2010 average

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást támogatta az Innovációs és Technológiai Minisztérium által meghirdetett Felsőoktatási Intézményi Kiválósági Program NKFIH-1150-6/2019 számon a Debreceni Egyetem 4. tématerületi programja keretében, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt.

Irodalom

- Gombos B.-Nagy J.*: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. Növénytermelés. 68. 2: 5–23.
- Nagy J.-Nyéki A.-Gombos B.*: 2020. A 2018–2019. évi időjárás elemzése szántóföldi tartamkísérletekben (Debrecen–Látókép). Növénytermelés. 69. 1: 21–31.
- Szász G.*: 1988. Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Nagy Zoltán – *Dr. Nagy János
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*nagyjanos@agr.unideb.hu

Eltérő genotípusú csemegekukorica (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern.) hibridek fenometriai és terméselem vizsgálatainak eredményei

DEMETER CINTIA – SZÉLES ADRIENN – ILLÉS ÁRPÁD –

BOJTOR CSABA – NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Kutatásainkban három eltérő genotípusú és érésidejű csemegekukorica hibrid fejlődését hasonlítottuk össze a legfontosabb fenofázisokban. Hat időpontban mértünk: 2 leveles, 4–6 leveles, 6–8 leveles állapot, hímvirágzáskor, nővirágzáskor és érés idején. NDVI segítségével zöldességet, a SPAD mérőműszerrel klorofill-tartalmat mértünk.

Kutatási eredményeink alapján megállapítottuk, hogy a vizsgált csemegekukorica hibridek megbízhatóan ($P < 0,05$) különböznek a növénymagasság (149–198 cm), a csőmagasság (69–79 cm) és a szárátmérő (20–24 mm) fenológiai paramétereket illetően.

A csemegekukorica hibridek terméseredménye, a betakarított csövek, a nedves szemek és a csutka tömege jelentősebb mértékben különböztek, mint a növény-, a csőmagasság és a szárátmérő.

A kielégítő SPAD-értékhez magas termés tartozott. Legnagyobb termést a kiváló termőképességű NO csemegekukorica hibrid érte el. Az ipari átvétel szempontjából fontos nyers termése (cső+csuhé) 21,953 t/ha volt. A legkisebb termést a PR hibrid érte el, 7,835 t/ha-ral kevesebbet.

A többi generatív paramétert elemezve megállapítottuk, hogy a különbségek arányaiban hasonlóak és abszolút értékben szignifikánsan különböznek. A PR csemegekukorica hibrid nedves csőtömege hektáronként 6,66 tonnával, a nedves szemtömege

5,460 tonnával és a csutka tömege 1,200 tonnával volt kevesebb, mint a NO csemegekukorica hibridnek.

Kulcsszavak: csemegekukorica, genotípus, fenometria, SPAD, NDVI

Results of phenometric and yield element studies of sweet maize (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern.) hybrids of different genotype

C. DEMETER – A. SZÉLES – Á. ILLÉS – CS. BOJTOR – J. NAGY

University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Land Utilisation, Regional Development and Technology, Debrecen

Summary

In our research, we compared the development of three sweet maize hybrids of different genotypes and ripening periods in the most important phenophases. Measurements were made on six occasions: 2-leaf stage, 4-6-leaf stage, 6-8-leaf stage, during male flowering, female flowering, and at maturity. Greenness was measured using NDVI and chlorophyll content was measured with the SPAD meter.

Based on our research results, we found that the examined sweet maize hybrids differed significantly ($P < 0.05$) in terms of phenological parameters such as plant height (149–198 cm), ear length (69–79 cm) and stem diameter (20–24 mm).

The yields of sweet maize hybrids, the weight of the harvested ears, wet grains, and cob differed significantly more than plant height, ear length, and stem diameter.

A satisfactory SPAD value was associated with a high yield. The highest yield was achieved by the NO sweet maize hybrid with excellent productivity. Its raw yield (ear+husk) important for industrial use was 21.953 t ha⁻¹. The lowest yield (by 7.835 t ha⁻¹) was achieved by the PR hybrid.

Analyzing the other generative parameters, we found that the differences are similar in proportions and significantly different in absolute terms. The PR sweet maize hybrid

had a wet ear weight of 6.66 tons per hectare, a wet grain weight of 5.460 tons, and a cob weight of 1.200 tons less than the NO sweet maize hybrid.

Key words: sweet maize, genotype, phenometry, SPAD, NDVI

Результаты исследования элементов урожая и фенометрии гибридов сахарной кукурузы (*Zea mays* L. convar. *saccharata* Koern.) различного генотипа

С. ДЕМЕТЕР – А. СЕЛЕШ – А. ИЛЛЕШ – Ч. БОЙТОР – Я. НАДЬ
Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и
Экологического Менеджмента, Институт Землепользования, Технический и
Развития Территорий, Дебрецен

Резюме

В наших исследованиях сравнивали развитие трёх гибридов сахарной кукурузы различного генотипа и времени созревания в самые важные фенофазы. Измеряли в шесть периодов времени: в состоянии 2 листа, 4–6 листьев, 6–8 листьев, во время мужского цветения, во время женского цветения и во время созревания. С помощью NDVI измеряли зелёность, прибором SPAD измеряли содержание хлорофилла.

На основании результатов исследования установили, что изученные гибриды сахарной кукурузы доказуемо ($P < 0,05$) отличаются по высоте растений (149–198 см), высоте початков (69–79 см) и по диаметру стебля (20–24 мм) касательно фенологических параметров.

Результаты урожая гибридов сахарной кукурузы, собранные початки, масса влажных зёрен и початков в значительной мере отличались, как по высоте растения и початка, так и по диаметру стебля.

К удовлетворительному показателю SPAD относился высокий урожай. Самый большой урожай получили от гибрида сахарной кукурузы с отличной плодородностью NO. С точки зрения промышленного получения важным был сырой урожай (початок+лыко) 21,953 t/ha. Самый маленький урожай получили от гибрида PR, меньше на 7,835 t/ha.

Анализируя другие генеративные параметры установили, что различия в их размерах похожи и в абсолютных величинах значительно различаются. Влажная масса початков гибрида сахарной кукурузы PR погектарно была меньше на 6,66 т, масса их влажных зёрен меньше на 5,460 т и масса початков на 1,200 т тоже была меньше, чем у гибрида сахарной кукурузы NO.

Ключевые слова: сахарная кукуруза, генотип, фенометрия, SPAD, NDVI

Bevezetés

A csemegekukoricát a világon az elmúlt években 360–380 ezer hektáron termesztették. Legjelentősebb termelője az USA, az Európai Unió, valamint Thaiföld. Magyarország csemegekukorica termesztése nemzetközi szinten is az élmezőnybe tartozik, termőterületét tekintve megelőzi Franciaországot, így az EU vezető termelője. Az elmúlt években (2014–2019) a csemegekukorica betakarított területe 30 és 37 ezer hektár között, termésmennyisége 460–515 ezer tonna között változott (KSH 2019). Magyarországon, legnagyobb területen, a Tiszántúlon termesztik, ezen belül is Hajdú-Bihar megyében, amely 13–14 ezer hektáros területével a hazai terület 40–45%-át adja (KSH 2019). A hazai termelés nagyobb részét a konzervgyárak kisebb részét a hűtőipar dolgozza fel. Évi 1–1,5 kg/fő a feldolgozott csemegekukorica fogyasztás. Növekvő tendenciát mutat a frissáruként való fogyasztás. A csemegekukorica exportot tekintve Magyarország az USA után a második legnagyobb feldolgozott csemegekukorica exportőr. Az előállított termékek 95%-a került exportra (KSH 2019, Magyar 2020).

A genetikai összetevők és a morfológiai tulajdonságok nagymértékben meghatározzák a kukorica hibridek termését (Zhao et al. 2019). A hibridek termésátlagai között az eltérő genotípusoknak köszönhetően különbségek vannak (Peng et al. 2014, Wu et al. 2019). A csőhosszúság és a soronkénti szemszám genotípus függő (Lente 2012). A kedvezőtlen környezeti tényezők azonban csökkentik a cső hosszát, a csövön lévő szemsorok számát, illetve az egy sorban lévő szemek számát, ezáltal a termést (Pajić et al. 2010, Ugur és Maden 2015, Nemeskéri et al. 2017), valamint a minőségét (sötét ragyogó zöld csuhé levelek és a cső végén túlnyúlóak, szabályos szemsorok és a cső végét jól benőttek, jó íz és zamat, vékony maghéj) (Orosz 2006). A genotípus és az év hatása,

valamint kölcsönhatásaik jelentős mértékben befolyásolják a csemegekukorica hibridek terméshozamát (*Hadi et al.* 1999, *Hadi* 2003, *Mengistu et al.* 2011, *Srdić et al.* 2011, 2016; *Molnár et al.* 2012).

A termésátlag nagysága a termelés intenzitásától függ (*Zsombik és Daróczy* 2008, *Orosz* 2009, *Lente* 2012). Egyre fontosabbá válik, hogy egységnyi területen a lehető legnagyobb hozamot és minőséget érjük el ezért, szükséges monitorozni a növények fejlődését, egészségi állapotát. A fotometriás mérésen alapuló módszerek, mint a SPAD (Soil Plant Analysis Development) és az NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) kiválóan alkalmasak a növényi vegetáció állapot felmérésére (*Rouse et al.* 1974, *Spitkó et al.* 2016, *Nemeskéri et al.* 2019). Az eredmény nagymértékben függ a genetikai adottságoktól, amit a környezeti és technológiai feltételek, valamint a különböző stresszhatások módosíthatnak (*Mänd et al.* 2010).

Kutatásunk célja eltérő genotípusú hibridek fenometriai vizsgálata, illetve a csemegekukorica hibridek genotípusának a nyers termésre (cső+csuhé) gyakorolt hatásának meghatározása volt.

Anyag és módszer

Kísérletünket a Debreceni Egyetem MÉK Bemutatókertjében mészlepedékes csernozjom talajon végeztük. Kutatásainkban három eltérő genotípusú kukorica hibridet vizsgáltunk (NO, KU, PR). A kísérlet elrendezését tekintve kéttényezős, sávos, négy ismétlésben beállított kisparcellás szántóföldi kísérlet.

A kijuttatott tápanyag mennyiség: 80 kg N/ha, 21 kg CaO/ha és 15 kg MgO/ha volt. Elővetemény kukorica volt. A vetés ideje: 2020. 05. 01. A kísérletben alkalmazott növényszám: 64 ezer/ha. Növényvédelmi kezelésként vegyszeres gyomirtást alkalmaztunk, Laudis 2,25 l/ha dózisban (2020. 06. 15.). 88 mm öntözővíz került kijuttatásra (2020. 06. 15.). A betakarítás 2020. 08. 23-án volt.

A tenyészidőszak során hat alkalommal végeztünk fenológiai méréseket, az eltérő fázisoknak megfelelően:

- 1. mintavétel: 2 leveles állapot,
- 2. mintavétel: 4–6 leveles állapot,
- 3. mintavétel: 8 leveles állapot,
- 4. mintavétel: hímvirágzás,
- 5. mintavétel: nővirágzás,
- 6. mintavétel: érés.

A mintavételezés során ismétlésenként 10 növényt mértünk. A növényállományok fejlődésének monitoringjára, egészségi állapotának felmérésére NDVI és SPAD méréseket végeztünk (2020. 07. 17., 07. 21., 07. 30., 08. 06., 08. 13. és 08. 17.). A nővirágzást követően, amikor növény már befejezte növekedését, felvételeztük a növény és csőmagasságot és a szárátmérőt. A kifejlett csemegekukorica csöveket betakarítottuk és megmértük a nyers termést (cső+csuhé), fosztást követően a csövek paramétereit: csőhosszúság, átmérő, sorszám, szemszám. A szemeket lemorzszoltuk és megmértük szárítószekrényben a szárazanyag-tartalmát.

Az időjárást a kísérleti területen elhelyezett automata időjárás állomás által mért és rögzített adatok alapján értékeltük. Az értékeket az 1981–2010 időszak átlagához viszonyítottuk.

A 2020. tenyészidőszakában, áprilisban és júliusban alacsonyabb volt a havi átlaghőmérséklet az átlagnál, de az eltérés mértéke nem volt jelentős, azonban májusban 2,3 °C-al volt hűvösebb. Júniusban a középhőmérséklet (+0,5 °C) magasabb volt az átlagnál és jelentősen melegebbnek bizonyult az augusztus (+1,8 °C). A tenyészidőszak első két hónapja csapadékszegény volt. Áprilisban 36,5 mm-rel, májusban 19 mm-rel hullott kevesebb csapadék, mint a 30 éves átlag. A júniusi csapadékösszeg a megelőző hónapok hűvös, száraz időjárása után jóval az átlag fölött alakult (+53 mm). Júliusban 82 mm-rel és augusztusban 21 mm-rel volt több csapadék az átlaghoz viszonyítva. Összességében a tenyészidőszak csapadéktöbblettel (+53 mm) zárult, a hőmérséklet az átlagnak megfelelően alakult (1. ábra).

A statisztikai vizsgálatot R 3.2.4. statisztikai környezetben (Team 2016a), RStudio (Team 2016b) 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.

Eredmények

A SPAD méréseket július 17. és augusztus 17. között végeztük. Ekkor a SPAD érték a három hibrid esetében 43,53 és 58,30 között alakult, a kísérlet főátlag 50,80 volt. A mérési időpontok átlagában vizsgált csemegekukorica hibridek SPAD értéke szignifikánsan különbözött egymástól ($P < 0,05$). A legnagyobb SPAD értékkel a KU (54,35) hibrid érte el. Ettől 2,05 értékkel maradt el az NO (52,30), valamint 8,62 értékkel a PR hibrid (45,73). Az NO hibrid SPAD

értéke 6,57 értékkel volt nagyobb, mint a legkisebb SPAD értékkel rendelkező PR hibrid.

1. ábra. A kísérleti tér időjárásának alakulása (2020)

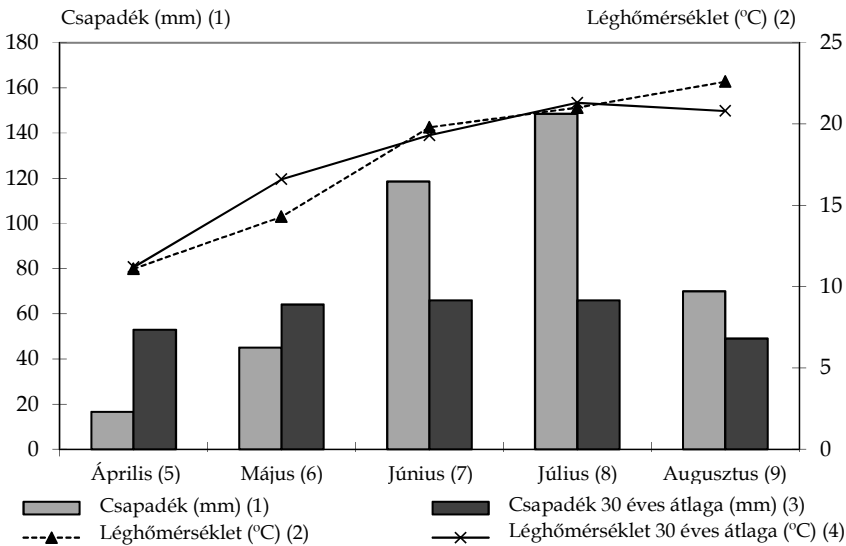


Figure 1. Weather of the experiment site (2020). (1) Precipitation (mm), (2) Air temperature (°C), (3) 30-year average of precipitation (mm), (4) 30-year average of air temperature (°C), (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August

A SPAD érték a hibridek átlagában július 17-én volt a legalacsonyabb (48,04) majd fokozatosan emelkedett és augusztus 6-ai méréskor érte el a legnagyobb (53,42) értéket. A különbségek szignifikánsan igazoltak ($P < 0,05$). A további méréskor csökkenés ($P < 0,05$) volt megfigyelhető.

Az NO hibrid esetében a Duncan teszt öt homogén csoportot különített el, mely alapján elmondható, hogy a legalacsonyabb SPAD értéket (50,18) július 17-én mértük ettől a többi időpontban mért klorofilltartalom 5%-os szignifikancia szint mellett eltért (2. ábra). A vegetáció előrehaladtával a relatív klorofilltartalom a vizsgált hibridnél lineárisan nőtt, a statisztikailag igazolható legnagyobb SPAD érték augusztus 13-án volt (54,55). A KU hibrid SPAD értéke hasonlóan alakult. A legalacsonyabb érték az első méréskor (július 17), míg a legnagyobb augusztus 6-án volt. A PR hibridnél a július 17-én mért legalacsonyabb érték (43,53) nem különült el szignifikánsan a többi mérési időpontban mért értékektől, kivéve az augusztus 6-ai eredményeket (48,55).

2. ábra. Csemegekukorica hibridek relatív klorofilltartalom (SPAD érték) változása a tenyészidőszak során

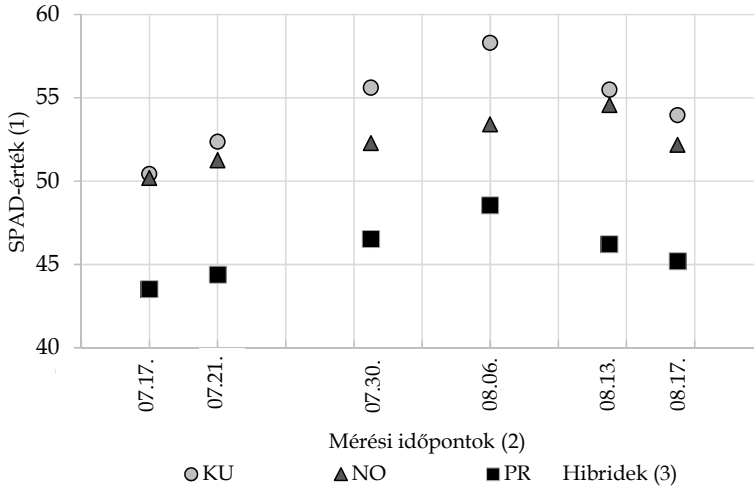


Figure 2. Change in relative chlorophyll content (SPAD value) of sweet maize hybrids during the growing season. (1) SPAD readings, (2) Measurement dates, (3) Hybrids

Hasonlóan *Hong et al.* (2007) és *Raun et al.* (2005) eredményeihez megállapítottuk, hogy az NDVI érték a vegetációs periódus alatt változik és a tenyészidőszak előrehaladtával, az érés folyamán a hibridek értékei folyamatosan csökkentek. A legmagasabb NDVI értékeket (0,7–0,77) a tenyészidőszak során július 17-én, a teljesen kifejlett növényállományban mértünk. A vizsgált időpontok mindegyikében a NO hibridet a KU és PR hibridtől magasabb értékek jellemezték, amely eltérés a július 17-i mérési időpontban, valamint a későbbi vegetációs időszakban többször is szignifikáns volt. A KU és PR hibrideket közel azonos NDVI értékek jellemezték a tenyészidőszak során, a két hibrid között statisztikailag igazolható eltéréseket az érési időszak végén (08. 13. és 08. 17.) mértünk (1. táblázat).

Kutatási eredményeink szerint a három genotípusú csemegekukorica hibrid megbízhatóan különbözött a fenológiai paramétereket elemezve (2. táblázat). A NO csemegekukorica hibrid középérésű szuperédes, erős növekedésű. Átlagos növénymagassága 166 cm, a cső 76 cm magasságban ered. Szára erős, átmérője: 24 mm. Kiváló termőképességű, a betakarított nedves termése (cső+csuhé): 21,953 tonna. A csuhé lefosztása után a nedves csőtömeg mennyisége: 18,664 t/ha (3. ábra). A hibrid átlagos csőhosszúsága: 201 ($\pm 2,5$) mm, a sorok

száma: 18 ($\pm 0,5$) és a csőátmérője: 48 ($\pm 0,05$) mm. Nedves morzsolt szemtömege kiemelkedő: 11,160 t/ha. A csemegekukorica hibrid szárítószekrényben mért szemtömegének szárazanyaga hektáronként 2,679 t/ha. Méréseink szerint jelentős a hibrid nedves csutkatömege: 7,500 t/ha.

1. táblázat. *Csemegekukorica hibridek NDVI értékeinek változása a tenyészidőszak során*

Hibridek (1)	2020. 07. 17.	2020. 07. 21.	2020. 07. 30.	2020. 08. 06.	2020. 08. 13.	2020. 08. 17.
NO	0,77 \pm 0,03 ^a	0,64 \pm 0,02 ^a	0,59 \pm 0,01 ^a	0,57 \pm 0,01 ^a	0,50 \pm 0,02 ^a	0,45 \pm 0,02 ^a
KU	0,70 \pm 0,02 ^b	0,62 \pm 0,01 ^a	0,56 \pm 0,01 ^b	0,52 \pm 0,01 ^b	0,42 \pm 0,01 ^b	0,39 \pm 0,01 ^b
PR	0,71 \pm 0,01 ^b	0,61 \pm 0,07 ^a	0,59 \pm 0,01 ^a	0,53 \pm 0,01 ^b	0,40 \pm 0,01 ^c	0,37 \pm 0,01 ^c

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Table 1. Changes in NDVI values of sweet maize hybrids during the growing season. (1) Hybrids, Note: Values marked with different letters show significant difference.

2. táblázat. *Csemegekukorica hibridek fenometria adatai*

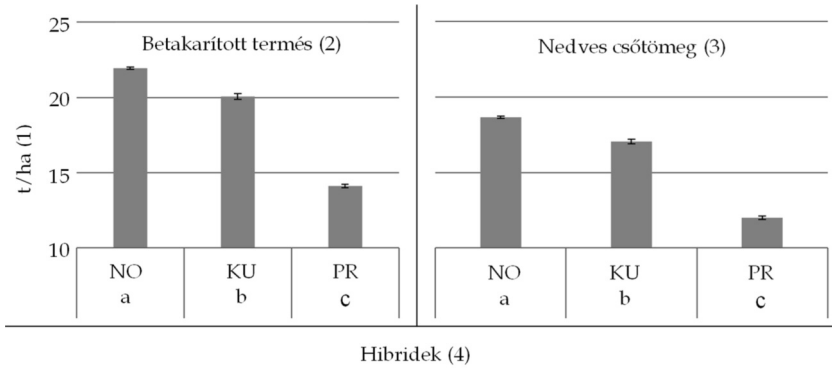
Hibridek (1)	Növénymagasság (cm) (2)	Csőmagasság (cm) (3)	Szárátmérő (mm) (4)
NO	166 \pm 2,63 ^b	76 \pm 2,06 ^a	24 \pm 0,58 ^a
KU	198 \pm 1,71 ^a	79 \pm 2,22 ^a	20 \pm 0,50 ^a
PR	149 \pm 2,16 ^c	69 \pm 0,96 ^b	21 \pm 0,50 ^b

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. Növénymagasság SzD₅: 4,19; Csőmagasság SzD₅: 3,55; Szárátmérő SzD₅: 1,04.

Table 2. Phenometric data of sweet maize hybrids. (1) Hybrids, (2) Plant height (cm), (3) Ear length (cm), (4) Stem diameter (mm), Note: Values marked with different letters show significant difference. Plant height LSD₅: 4.19; Ear length LSD₅: 3.55; Stem diameter LSD₅: 1.04.

A KU csemegekukorica hibrid rövidebb tenyészidejű, korai érésű, szuperédes. Kiváló alkalmazkodó képességű. Méréseink szerint átlagos magassága: 198 cm, csőmagassága: 79 cm. Szárátmérője kisebb: átlagosan 20 mm. Jó termőképességű, konzervipari felhasználása kiváló. Kísérleteinkben a betakarított nyers termése (cső+csuhé) 20,118 t/ha volt. 17,040 t/ha nyers csőtermése és 10,200 t/ha nedves szemtömege ipari feldolgozás szempontjából jó eredményt mutatott (4. ábra). A hibrid átlagos csőhosszúsága: 223 ($\pm 0,82$) mm, a sorok száma: 15 ($\pm 0,5$) és a csőátmérője: 45 ($\pm 0,05$) mm.

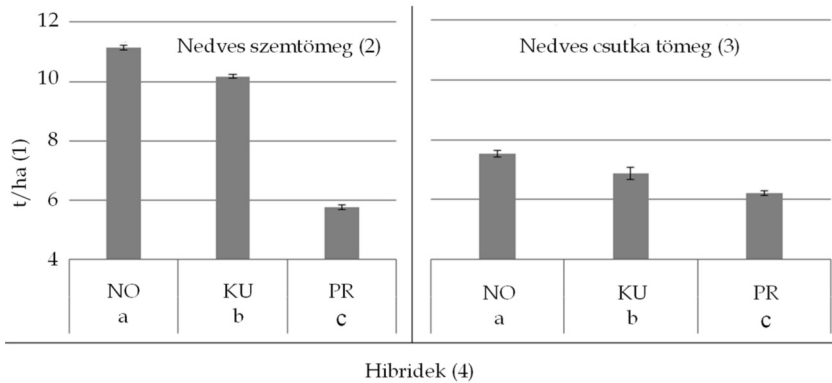
3. ábra. Csemegekukorica hibridek betakarított termés (cső+csuhé) és nedves csőtömege



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. Termés: SzD₅=0,24; Nedves csőtömeg: SzD₅=0,2.

Figure 3. Harvested yield (ear+husk) and wet ear weight of sweet maize hybrids. (1) t ha⁻¹, (2) Harvested yield, (3) Wet ear weight, (4) Hybrids, Note: Values marked with different letters show significant difference. Yield: LSD₅=0.24; Wet ear weight: LSD₅=0.2.

4. ábra. Csemegekukorica hibridek nedves szentömege és nedves csutka tömege



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. Nedves szentömeg: SzD₅=0,14; Nedves csutka tömeg: SzD₅=0,25.

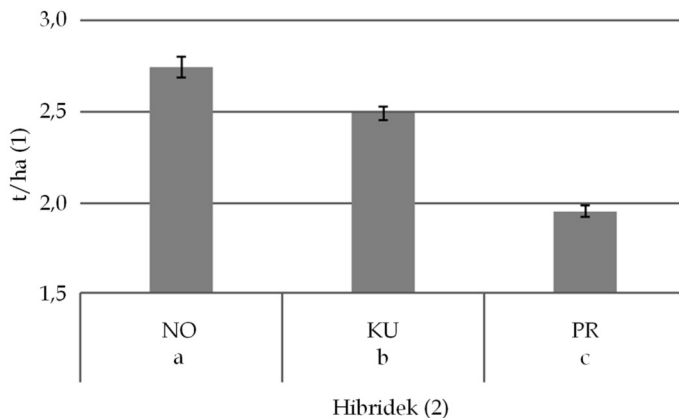
Figure 4. Wet grain weight and wet cob weight of sweet maize hybrids. (1) t ha⁻¹, (2) Wet grain weight, (3) Wet cob weight, (4) Hybrids, Note: Values marked with different letters show significant difference. Wet grain weight: LSD₅=0.14; Wet cob weight: LSD₅=0.25.

Kutatási eredményeink azt bizonyítják, hogy a genotípusok jelentősen eltérnek a fenometriai adatok és a generatív paramétereket illetően. Legkisebb különbség a hibridek között a kukoricaszemek hektáronkénti szárazanyag-tö-

megében mérhető, 8,6% (NO=2,679, KU=2,448 tonna). Hasonló értéket mutatott a csemegekukorica nedves csutka tömege: 6,840 t/ha.

Mind fenometriai, mind generatív paraméterek alapján a PR hibrid friss fogyasztásra alkalmas normál csemegekukorica. 149–150 cm-es növénymagassága átlagos érték. A cső 69 cm magasságban ered. Erős szára 21 mm átmérőjű. Középkorai tenyészidejű, kiváló ízvilágú hibrid, közepes méretű szemekkel. Betakarított nedves termése (cső+csuhé) közepes, hektáronként 14,118 tonna, nedves csőtömege: 12 tonna. Nedves szemtömege 5,7 t/ha, szárazanyag-tartalma közel két tonna (1,962) (5. ábra). A hibrid átlagos csőhosszúsága: 188 ($\pm 0,82$) mm, a sorok száma: 17 ($\pm 0,1$) és a csőátmérője: 41 ($\pm 1,15$) mm. Nedves csutka tömege jelentős, hektáronként: 6,3 tonna.

5. ábra. Csemegekukorica hibridek szem-szárazanyag tömege



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek. $SzD_5=0,08$.

Figure 5. Grain dry matter mass of sweet maize hybrids. (1) t ha⁻¹, (2) Hybrids, Note: Values marked with different letters show significant difference. $LSD_5=0.08$.

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, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt, és a kutatás az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának szakmai támogatásával készült.

Irodalom

- De Mendiburu, F.*: 2016. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.2-4. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Fox, J.–Weisberg, S.*: 2011. *An {R} Companion to Applied Regression*. 2nd Edition. Thousand Oaks CA: Sage. <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Hadi G.*: 2003. A csemegekukorica. [In: Radics L. (szerk.) *Növénytermesztés határok nélkül.*] Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 15–35.
- Hadi G.–Szundy T.–Marton L. Cs.–Pintér J.*: 1999. Néhány szó a csemegekukoricáról. *Gyakorlati Agroforum*. 10. 4: 33–34.
- Hong, S. D.–Schepers, J. S.–Francis, D. D.–Schlemmer, M. R.*: 2007. Comparison of ground-based remote sensors for evaluation of corn biomass affected by nitrogen stress. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 38. 15–16: 2209–2226.
- KSH*: 2019. Központi Statisztikai Hivatal (2014–2019) – Fontosabb növények zöldség-félék termesztése és felhasználása. Budapest. https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn004a.html
- Lente Á.*: 2012. A legfontosabb agrotechnikai tényezők hatása a csemegekukorica hibridek agronómiai tulajdonságaira és termésére. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.
- Magyar A.*: 2020. Makro adatok a gazda szemével. Világszintű nagyhatalom vagyunk, de alig fogyasztjuk – a hazai csemegekukorica termelés. <https://www.agrarszektor.hu/noveny>
- Mänd, P.–Hallik, L.–Peñuelas, J.–Nilson, T.–Duce, P.–Emmett, B. A.–Beier, C.–Estiarte, M.–Garadnai, J.–Kalapos, T.–Schmidt, I. K.–Kovács-Láng, E.–Prieto, P.–Tietema, A.–Westerveld, J. W.–Kull, O.*: 2010. Responses of the reflectance indices PRI and NDVI to experimental warming and drought in European shrublands along a north–south climatic gradient. *Remote Sensing of Environment*. 114. 3: 626–636.
- Mengistu, G.–Dhaba, C.–Temesgen, A.–Lule, D.–Geleta, N.*: 2011. Genotype x environment interaction for yield in field pea (*Pisum sativum* L.). *East African Journal of Sciences*. 5. 1: 6–11.
- Molnár K.–Vig R.–Nemeskéri E.–Dobos A. Cs.*: 2012. A vízellátottság és az évjárat hatása eltérő genotípusú csemegekukorica (*Zea mays* L. convar. saccharata Koern.) hibridek termőképességére. *Agrártudományi Közlemények*. 50: 203–210.
- Nemeskéri E.–Molnár K.–Dobos Cs. A.*: 2017. Csemegekukorica (*Zea mays* L. convar. saccharata) sztómaműködése és hatása a növekedésre és termés komponensekre eltérő vízellátás alatt. *Növénytermelés*. 66. 1: 75–96.
- Nemeskéri, E.–Molnár, K.–Rácz, Cs.–Dobos, Cs. A.–Helyes, L.*: 2019. Effect of water supply on spectral traits and their relationship with the productivity of sweet corns. *Agronomy*. 9. 2: 63.
- Orosz F.*: 2006. Csemegekukorica fajtaválasztás. *Kertészet és Szőlészet*. 55: 21.

Orosz F.: 2009. Termesztéstechnológiai elemek hatása a csemegekukorica koraiságára.

- Doktori (PhD) értekezés. Budapest.
- Pajić, Z.–Radosavljević, M.–Filipović, M.–Tododrović, G.–Srdić, J.–Pavlov, M.*: 2010. Breeding of specialty maize for industrial purposes. *Genetika*. 42: 57–66.
- Peng, Y. L.–Zhao, X. Q.–Ren, X. W.–Li, J. Y.*: 2014. Genotypic differences in response of physiological characteristics and grain yield of maize inbred lines to drought stress at flowering stage. *Agri. Res. Arid Areas*. 32: 9–14.
- Raun, W. R.–Solie, J. B.–Martin, K. L.–Freeman, K. W.–Stone, M. L.–Johnson, G. V.–Mullen, R. W.*: 2005. Growth stage, development, and spatial variability in corn evaluated using optical sensor readings. *Journal of Plant Nutrition*. 28. 1: 173–182.
- Rouse, J. W.–Haas, R. H.–Schell, J. A.–Deering, D. W.*: 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. [In: Freden, S. C. et al. (eds.) Third Earth Resources Technology Satellite–1 Symposium. I: Technical Presentations.] NASA SP-351. NASA. Washington D. C. 309–317.
- Spitkó, T.–Nagy, Z.–Zsubori, Z. T.–Szóke, C.–Berzy, T.–Pintér, J.–Marton, C. L.*: 2016. Connection between normalized difference vegetation index and yield in maize. *Plant Soil Environ*. 62. 7: 293–298
- Srdić, J. J.–Pajić, Z.–Filipović, M.*: 2016. Sweet corn (*Zea mays* L.) Fresh ear yield independence of genotype and the environment. *Selekcija i Semearstvo*. 22: 27–32.
- Srdić, J.–Simić, M.–Videnović, Ž.–Pajić, Z.–Dragičević, V.*: 2011. Effects of genotype and sowing densities on ear yield and shelling percentage of sweet corn. AGRISAFE Final Conference 21st–23rd March. Budapest. Hungary. 344–347.
- Team, R.*: 2016a. RStudio: Integrated Development for R. RStudio. Inc. Boston. MA. USA. <http://www.rstudio.com/>
- Team, R.*: 2016b. R: a language and environment for statistical computing. Vienna. Austria: R Foundation for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.R-project.org/>
- Ugur, A.–Maden, H. A.*: 2015. Sowing and planting period on yield and ear quality of sweet corn (*Zea mays* L. var. *saccharata*). *Ciênc. Agrotec*. 39. 1: 48–57.
- 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>
- Wu, G.–Miller, N. D.–de Leon, N.–Kaeppeler, S. M.–Spalding, E. P.*: 2019. Predicting *Zea mays* flowering time, yield, and kernel dimensions by analyzing aerial images. *Frontiers in Plant Science*. 10: 1251.
- Zhao, X.–Zhang, J.–Fang, P.–Peng, Y.*: 2019. Comparative QTL analysis for yield components and morphological traits in maize (*Zea mays* L.) under water-stressed and well-watered conditions. *Breeding Science*. 69: 621–632.
- Zsombik L.–Daróczy M.*: 2008. A csemegekukorica termesztésének helyzete és aktua-

litásai. Agrárágazat. 9. 2: 24-26.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Demeter Cintia – Dr. Széles Adrienn – Illés Árpád – Bojtor Csaba – Dr. Nagy János
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*szintia.demeter@gmail.com

Eltérő hőmérsékletű és időtartamú kezelések hatása magyar burgonyafajták gumónyugalmi idejére

ESZTERGÁLYOS ÁDÁM – POLGÁR ZSOLT

Szent István Egyetem

Burgonyakutatói Központ, Keszthely

Összefoglalás

Kísérleteinkben hat különböző időtartamú és mértékű hő- és hidegsokk kezelés hatását vizsgáltuk három eltérő alap gumónyugalmi idejű magyar burgonyafajta gumónyugalmi idejére (Balatoni rózsa, Botond, Démon). A vizsgálatokat három évben, három egymást követő tárolási időszakban végeztük el. A gumónyugalmi idő hosszának kifejezésére, az eredményeket a gumók nyugalmi idejének lejárásához szükséges kumulált hőösszegben és az eltelt napok számában is kifejeztük. Eredményeink alapján a kezelések jelentősen befolyásolták a fajták nyugalmi idejét. Az alkalmazott kezelések közül a váltakozó tárolási hőmérséklet rövidítette le a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt. Ezen belül a meleg előkezelés (hősokk, 2 hét 35 °C-on) szignifikánsan hatásosabb volt, mint a hideg előkezelés (hidegsokk, 2 hétig 5 °C-on). A rövid ideig tartó magas hőmérsékletű kezelés kisebb mértékben, de szintén csökkentette a nyugalmi időt, azonban a tartósan magas hőmérsékletű kezelés növelte azt, és elhúzódó csírázást eredményezett. Ennek élettani oka a kényszernyugalom lehet, ahol az osztódó szövet aktivitása már nem a belső fiziológiai tényezők, hanem külső környezeti tényezők által blokkolt (Suttle 2007). A gumók megkapták a nyugalmi idő lejártához szükséges hőösszeget, de a környezeti feltételek nem voltak kedvezőek a csírázáshoz (van Ittesrum 1992). Alacsony tárolási hőmérsékleten megfigyeltük, hogy a vizsgálatunkban hosszabb alap nyugalmi idővel rendelkező fajták a kezelés hatására is hosszabb nyugalmi idővel rendelkeztek, tehát a fajták sorrendje megmaradt. Ez a magas hőmérsékletű kezelések hatására megváltozott, nem minden esetben tartották meg a fajták ezt a sorrendet.

Az egyes évjáratok közt jelentős eltéréseket tapasztaltunk. Ennek alapján a tenyészidőszak időjárása, az anyanövények által felvett hőösszeg hatással volt a fajták alap nyugalmi idejére és ezen keresztül befolyásolta a kezelések hatékonyságát is.

Vizsgálati eredményeink számos esetben alátámasztották más kutatók eredményeit (pl. a rövid ideig tartó alacsony hőmérsékletű kezelés lerövidíti a nyugalmi időt; a váltakozó hőmérsékletű tárolás jobban rövidíti a nyugalmi időt, mint az állandó tárolási hőmérséklet; a meleg előkezelés hatékonyabb, mint a hideg előkezelés). Több esetben azonban eltérő következtetésre vezettek. Esetünkben a 30 °C körüli tartós hőhatás a nyugalmi idő csökkentésével ellentétben növelte azt; a hősokk kezelés (35 °C) pedig nem vezetett a nyugalmi idő azonnali feloldásához.

A burgonyagumók nyugalmi idejének vizsgálatával foglalkozó szakirodalmi eredmények számos általunk is megerősített, általánosítható következtetésre vezettek. Az ezektől eltérő tapasztalati eredmények pedig kihangsúlyozták a vizsgált tulajdonság erős genetikai meghatározottságát, genotípus függőségét, illetve a fajták környezeti tényezőkre adott eltérő reakcióját. A fentiek tükrében minden új fajta, illetve fajtajelölt esetében szükségesnek tartjuk hasonló jellegű kísérletsorozat elvégzését a tárolási cél-
nak megfelelő, optimális tárolási körülmények meghatározása érdekében.

Kulcsszavak: *Solanum tuberosum*, nyugalmi idő szabályozása, tárolási körülmények

The effect of treatment of different temperature and duration on the tuber dormancy period of Hungarian potato cultivars

Á. ESZTERGÁLYOS – ZS. POLGÁR

Szent István University

Potato Research Centre, Keszthely

Summary

In our experiments, we examined the effect of six different durations and degrees of heat and cold shock treatments on the tuber dormancy period of three different Hungarian potato cultivars of different basic tuber dormancy period (Balaton rose, Botond, Demon). Examinations were performed for three years in three consecutive

storage periods. To express the length of the tuber dormancy period, the results were also expressed in terms of the amount of cumulative heat required for the tuber dormancy period and the number of days elapsed. Based on the obtained results, the performed treatments significantly affected the dormancy period of the examined varieties. Of the treatments used, changing storage temperatures shortened the dormancy period the most. More specifically, warm pretreatment (heat shock, 2 weeks at 35 °C) was significantly more effective than cold pretreatment (cold shock, 2 weeks at 5 °C) had a significant effect. Short-term high-temperature treatment also reduced dormancy to a lesser extent. However, persistent high-temperature treatment increased dormancy and resulted in prolonged germination. The physiological reason for this phenomenon may be forced dormancy, where the activity of the dividing tissue is no longer blocked by internal physiological factors but by external environmental factors (Suttle 2007). The tubers received the amount of heat needed to end the dormancy period, but the prevailing environmental conditions were not favorable for germination (van Ittesrum 1992). At low storage temperatures, we observed that in our study, cultivars with a longer basic tuber dormancy period also had a longer tuber dormancy period as a result of treatment, i.e. the order of the cultivars remained unchanged. However, this has changed as a result of high temperature treatments, as there were cases when the order of different varieties changed.

We found significant differences between each crop year. Consequently, the weather of the growing season and the amount of heat absorbed by the mother plants had an effect on the basic dormancy of the varieties and through this also affected the effectiveness of treatments.

Our study results supported the findings of other researchers in many cases (e.g., short-term low-temperature treatment shortens the dormancy period; alternating-temperature storage shortens the dormancy period more than constant storage temperature; warm pretreatment is more effective than cold pretreatment). In several cases, however, different conclusions were made. In our case, the permanent heat effect of around 30 °C increased the dormancy period and heat shock treatment (35 °C) did not lead to the immediate ending of the dormancy period.

The results of the literature on the study of the dormancy period of potato tubers have led to a number of generalizable conclusions that we have confirmed. In addition, the different empirical results emphasized the strong genetic specificity of the studied trait, the dependence of the genotype, and the different reaction of the varieties to environmental factors. In view of the above findings, we consider it necessary to perform a similar series of experiments for each new variety or candidate

variety in order to determine the optimal storage conditions appropriate to the storage purpose.

Key words: *Solanum tuberosum*, controlling the dormancy period, storage conditions

Влияние обработок различной температуры и продолжительности на довсходовый период венгерских сортов картофеля

А. ЭСТЕРГАЙОШ – Ж. ПОЛГАР

Университет им.Св.Иштвана

Исследовательский Центр Картофеля, Кестхей

Резюме

В наших опытах исследовали влияние шести различных по продолжительности и размеру обработок теплого и холодного шока на довсходовый период трёх различных основных венгерских сортов картофеля («Balatoni gózsza», «Botond», «Démon»). Исследования проводили в течении трёх лет, в следующие один за другим периоды хранения. Для выражения продолжительности довсходового периода, результаты выразили в кумулятивной сумме тепла, необходимой для завершения досходового времени клубней и в количестве прошедших дней. На основании наших результатов обработки значительно повлияли на довсходовый период сортов. Среди применённых обработок изменяющаяся температура хранения сократила в самом большом размере довсходовый период. Среди этих тёплая предварительная обработка (тепловой шок, 2 недели при 35 °С) был значительно влиятельнее, чем холодная предобработка (холодный шок, 2 недели при 5 °С). Продолжающаяся короткое время обработка высокой температурой в меньшей мере, но также уменьшила довсходовый период, однако продолжительная обработка высокой температурой увеличила это, и дало в результате затянувшееся прорастание. Физиологической причиной этого может быть вынужденное довсходовое время, где на активность делящихся тканей влияют уже не внутренние физиологические факторы, а заблокированы внешними окружающими факторами (Suttle 2007). Клубни получили для завершения довсходового времени необходимое количество тепла, но окружающие усло-

вия не были благоприятны для произрастания (*van Ittesrum* 1992). При низкой температуре хранения наблюдали, что в наших исследованиях сорта, обладающие более длинным основным довсходным временем, под влиянием обработки также более длинным довсходным временем располагали, значит очередность сортов сохранилась. Это изменилось под влиянием обработок высокой температурой, не в каждом случае эти сорта сохранили эту очередность.

Среди разных лет выращивания обнаружили значительные отличия. На основании этого погода вегетационного периода, принятая материнским растением сумма тепла оказали влияние на основной довсходный период сортов и посредством этого влияет на эффективность обработок.

Результаты наших исследований во многих случаях подтвердили результаты других исследователей (напр. продолжающаяся короткое время обработка низкой температурой сокращает довсходное время; переменчивая температура хранения в большей степени сокращает довсходное время, чем постоянная температура хранения; тёплая предобработка более эффективна, чем холодная предобработка). Однако во многих случаях получили различные выводы. В нашем случае продолжительное около 30 °C тепловое влияние в отличии от сокращения довсходного времени увеличило это; а обработка тепловый шоком (35 °C) не привела к быстрому завершению довсходного времени.

Результаты занимающихся исследованием довсходного времени картофельных клубней, описанные в специальной литературе, как и результаты наших исследований позволили сделать общие выводы. А отличающиеся от этого результаты опытов подчеркнули сильную генетическую обусловленность исследованного свойства, зависимость от генотипа, а также различные реакции, данные сортами на окружающие факторы. Учитывая вышеизложенное, считаем необходимым в случае каждого нового сорта, точнее обозначенного на новый сорт, проводить аналогичного образа ряд опытов в целях хранения, для установления оптимальных условий хранения.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum*, регулирование довсходного времени, условия хранения

Bevezetés

A burgonyafajták gumónyugalmi ideje olyan fontos, genetikailag meghatározott tulajdonság, melyre a növényt ért környezeti tényezők is jelentős hatással

vannak. A tárolási költséget nagyban befolyásolja, hogy egy adott fajtát milyen hőmérsékleten, mennyi ideig lehet tárolni úgy, hogy a hajtások fejlődése ne induljon meg (Wiersema 1985). Mérsékeltövi klíma alatt a hosszú nyugalmi idő előnyös tulajdonság, míg mediterrán, vagy szubtrópusi körülmények között, ahol egy éven belül többszöri, vagy akár folyamatos ültetés is lehetséges, a rövidebb nyugalmi idő az előnyösebb (Struik és Lommen 1999). Ilyen esetekben (Coleman 1983, Struik és Wiersema 1999, Wróbel 2008), illetve a vetőgumószaporítások rügydugvány vizsgálata során szükség lehet a gumók nyugalmi idejének mesterséges lerövidítésére.

A burgonyanövények leérésekor frissen betakarított gumók alap, vagy mélynyugalmi állapotban vannak, és még a csírázásnak kedvező feltételek mellett sem hajtanak ki (van Ittersum 1992). A burgonya természetes élőhelyén a mélynyugalom arra szolgál, hogy megóvja a gumót, mint vegetatív szaporító képletet a kedvezőtlen környezeti feltételektől (Suttle 2007, Askenova et al. 2013). A nyugalmi állapot biokémiai úton szabályozott folyamat (Suttle 2004, Benkeblia et al. 2008), amely a gumók kezdeti fejlődésétől a csírázás kezdetéig tart. A nyugalmi idő az anyanövény biológiai érésekor, a lombozat leszáradása után a leghosszabb, majd a tárolással fokozatosan csökken (Wróbel et al. 2017). A gumók élettani korának, és alap nyugalmi idejük hosszának ismerete ezért elengedhetetlen ahhoz, hogy a betárolt gumókat a kívánt időtartamra, a kívánt minőségben eltárolhassuk, illetve meghatározhassuk a végső felhasználási célnak megfelelő tárolási hőmérsékletet (friss fogyasztás, feldolgozás, avagy vetőgumó) (Carli et al. 2016).

A nyugalmi idő hossza alapvetően genetikailag meghatározott tulajdonság. Az egyes fajták közt jelentős különbségek vannak alap nyugalmi idejük hosszában (Beukema és Zaag 1979, Zarzyńska 2004, Bamberg 2010). Rendszerint a rövidebb tenyészidejű, korai érésű fajták rövidebb nyugalmi idővel rendelkeznek, míg a hosszabb tenyészidejűek hosszabbal. A nyugalmi idő hosszára egyazon fajtán belül emellett még az anyanövényt érő tenyészidőszak alatti hőösszeg nagysága (Tör 2011, Tiemens et al. 2013), és az abiotikus stresszek, pl. hősokk és időszakos vízhiány is hatással vannak (Burton 1989, Ezekiel és Singh 2003, Zarzyńska 2004).

A nyugalmi állapot befolyásolása elengedhetetlen a burgonyaágazatban. A csírázás késleltetésére a hosszú idejű tárolási igény miatt van szükség. Ezt alacsony hőmérsékleten való tárolással érhetjük el (2–4 °C). A hideg tárolás meghosszabbítja a nyugalmi időt (Brandt et al. 2003), de általában a redukáló

cukortartalmat is növeli, ami minőségrontó tényező (*Grudzińska* 2012). Az alacsony tárolási hőmérséklet viszont előnyös a vetőgumóként történő felhasználás esetén (*Struik és Wiersema* 1999, *Wróbel et al.* 2017). Ha a gumók tárolása alatt megemeljük a hőmérsékletet, az kedvez a nyugalmi idő feltörésének és a korábbi kihajtásnak. A magas tárolási hőmérséklet ugyanis felgyorsítja az élettani érés folyamatát, ezzel csökkentve a nyugalmi idő hosszát (*Askenova et al.* 2013). Az eddigi eredmények alapján azonban a tárolási hőmérséklet és a nyugalmi idő kapcsolata csak egy adott hőmérsékleti tartományban alakul így.

A 3 °C alatt tárolt gumók nem hajtanak ki, mert kényszernyugalomban vannak (*Suttle* 2007). Három és 25 °C között a nyugalmi idő hossza fordítottan arányos a tárolási hőmérséklettel (*Burton* 1989). A 3 °C alatti, vagy 30 °C feletti tartós hőhatás hirtelen feloldja a nyugalmi időt. Ha ilyen kezelés után a gumókat visszahelyezzük mérséklet, a csírázásnak megfelelő hőmérsékletre a hajtásfejlődés megindul (*Wurr és Allen* 1976, *Harkett* 1981, *van Ittersum és Scholte* 1992). A tárolás során a váltakozó hőmérséklet jobban lerövidíti a nyugalmi időt, mint az állandó hőmérséklet. Ezért a tárolási hőmérsékletnek állandónak kell lennie, ha késleltetni szeretnénk a hajtásfejlődést (*Burton* 1963). A nyugalmi idő a legjobban akkor csökken, ha a hőmérséklet közvetlenül a betakarítás után magas. Burgonyafajtától függően a magas hőmérséklet (35 °C felett) a nyugalmi idő azonnali feloldásához, illetve egy élettani rendellenességhez, az úgynevezett hőcsírázáshoz vezethet (*Suttle* 2007). A melegebb hőmérséklet tehát a tárolás korai szakaszában jelentősen csökkentheti a nyugalmi időt, ez a hatás azonban a tárolás későbbi szakaszában nem érhető el. Ez azt jelenti, hogy nemcsak a tárolási hőmérséklet, de a tárolás meleg szakaszának időzítése is használható a nyugalmi idő szabályozására. Ebben a tekintetben azonban a különböző fajták eltérő viselkedését is figyelembe kell venni (*Struik és Wiersema* 1999).

A hideg tárolás számos fajta esetén hátrányos lehet, ugyanis csökkenhet a csírázóképesség, ha tartósan 2 °C-on tároljuk őket. 4 °C-on a csíranövekedés szünetel, de az élettani érés folytatódik (*Beukema és van der Zaag* 1990). Hogy az élettani kor milyen arányban növekszik az idővel, az erősen függ a tárolás alatti hőmérséklettől. Mivel a hőmérsékletnek erőteljes hatása van az élettani érés ütemére, a tárolás hosszát gyakran napi halmozott átlaghőmérsékletben (hőösszegben) fejezik ki (*O'Brien et al.* 1983). A hőösszegre adott reakció azonban fajtánként eltérő (*van der Zaag és van Loon* 1987).

Számos további szerző foglalkozott a hőkezelések nyugalmi időre gyakorolt hatásának vizsgálatával. *Grudzińska* és *Mańkowski* (2018) a hosszú ideig tartó alacsony hőmérsékletű tárolást vizsgálták. Eredményeik alapján az 5 °C-on történő tárolás átlagosan 50 nappal növelte a vizsgált fajták nyugalmi idejét a 8 °C-on történő tároláshoz képest. A 3 °C-on tárolt gumóknak még ennél is hosszabb volt a nyugalmi ideje. Hasonló eredményre jutottak *Brandt et al.* (2003), akik 5, 7 és 9 °C-on tárolták a Russet Burbank és Umatilla Russet fajtákat. *Nasiruddin et al.* (2016) hatékonyan alkalmazták a hidegsokk kezelést. Vizsgálataikban a kezelés hatására közel 50%-kal a csökkent a nyugalmi idő a kontrollhoz képest.

Az ismertetett eredmények mind külföldi fajtákra vonatkoznak, a hőösszegre adott reakció azonban *van der Zaag* és *van Loon* (1987) eredményei alapján fajtánként jelentősen eltérő lehet. A magyar burgonyafajták hőösszeg reakciójára vonatkozóan eddig nem álltak rendelkezésre kísérleti adatok. Vizsgálataink célja ezért három új nemesítésű hazai burgonyafajta gumónyugalmi idő változásának elemzése volt az alkalmazott hőkezelések és a tárolási hőmérséklet vonatkozásában.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat Keszthelyen, a Pannon Egyetem, Burgonyakutatási Központ tárolásfiziológiai laboratóriumában végeztük, két korai érésű (Balatoni rózsza és Botond), és egy középérésű fajtával (Démon). A vizsgált fajták eltérő alap nyugalmi idővel rendelkeznek, melyet előzetesen már meghatároztuk (*Esztergályos et al.* 2018). A kísérleteket három egymást követő tenyészidőszakban állítottuk be, 2017, 2018 és 2019 nyarán. A kísérletekhez használt vetőgumó szuperelit (Pre Basic 2) szaporítási fokú volt, amely az *in vitro* eredetű PBTC gumók második, vektor hálójával fedett termesztő berendezés alatti letermesztéséből származott. A gumókat betakarítás után a parásodásig, két hétre fűtetlen, jól szellőző tárolóba helyeztük. Ezután különböző hőmérsékleteken, klímasekényben tároltuk. Az alkalmazott kezelések a következők voltak:

H1 – hidegsokk, majd hősokk kezelés: 2 hétig 5 °C, majd 2 hétig 35 °C;

H2 – folyamatos, magas hőmérsékletű tárolás: 30 °C, amíg a nyugalmi idő lejárt;

H3 – rövid ideig tartó magas hőmérsékletű tárolás: 4 hét 30 °C;

H4 – hosszú ideig tartó magas hőmérsékletű tárolás: 8 hét 30 °C;

H5 - hősokk kezelés: 4 hét 35 °C;

H6 - hősokk, majd hidegsokk kezelés: 2 hét 35 °C, majd 2 hét 5 °C.

A kísérletet négy ismétlésben, ismétlésenként 15 db gumóval állítottuk be. A nyugalmi idő meghatározását *Carli et al.* (2016) módszere szerint végeztük. A vizsgálandó gumókat a hőkezelést követően a csírázásnak megfelelő körülmények közé helyeztük, 20 °C-ra, 80% relatív páratartalom mellett, teljes sötétségben. A hajtásnövekedést naponta felvételeztük. A nyugalmi időt akkor tekintettük lejártnak, amikor a vizsgált gumókon megjelent legalább 1 db 2 mm hosszú csíra. A kontrollt állandó 20 °C-on tároltuk addig, amíg a nyugalmi ideje lejárt.

A betakarítástól a nyugalmi idő lejártáig eltelt időt (ah, after harvest, *Grudzińska és Mańkowski* 2018) napokban és effektív hőösszegben is megadtuk (napi halmozott átlaghőmérséklet, $\sum \text{°C nap}$). Ez a hőmérséklet összeg egyesíti a tárolási idő hosszát (napokban) és a tárolási hőmérsékletet (°C-ban), egy matematikai értékben kifejezve a halmozott napi átlaghőmérsékleteket. Az élettani érés így kifejezhető az effektív hőmérséklet összeggel: minél nagyobb a gumók által felvett hőösszeg, annál magasabb az elért élettani kor (*O'Brien et al.* 1983). Az adatok előkészítését és rendszerezését Microsoft Office 2007, míg a statisztikai elemzését IBM SPSS 22 programmal végeztük.

Eredmények

Kontroll körülmények között a fajták nyugalmi ideje az előzetes eredményeknek megfelelően alakult (*Esztergályos et al.* 2018). A leghosszabb nyugalmi idővel a Balatoni rózsa (effektív hőösszeg átlagosan 2086 °C; 87,6 nap), ettől rövidebbel a Démond (1921 °C; 80,4 nap), míg a legrövidebbel a Botond rendelkezett (1662 °C; 69 nap). A nyugalmi idő hossza tehát nem függ össze a tenyészidő hosszával a vizsgált fajták esetében.

A kezelések jelentősen befolyásolták a fajták nyugalmi idejét (*1. táblázat*). A legnagyobb mértékben a H6, illetve a H1 kezelés csökkentette a nyugalmi időt minden fajta esetében, mindhárom tenyészidőszakban. A H6 átlagosan 27%-kal csökkentette a fajták nyugalmi idejét a kontrollhoz képest °C-ban, illetve 28%-kal napokban kifejezve. A H1 átlagosan 14%-kal csökkentette a nyugalmi időt °C-ban, illetve 16%-kal napokban kifejezve. Igazolni tudtuk *Harkett* (1981), valamint *van Ittersum és Scholte* (1992) eredményeit, tehát a rövid

ideig tartó (néhány hét) alacsony hőmérsékletű tárolás lerövidíti a nyugalmi időt. Mindkét kezelés esetében a tárolóban felvett napi hőösszeg megegyezett a kontrollal. Két héten keresztül hő- (35 °C), illetve két héten keresztül hidegsokk kezelést (5 °C) kaptak a gumók, amelynek négy hétre vetített átlaga ugyanúgy 20 °C, mint a kontroll esetében. Mégis a H6 – ahol előbb kaptak hőkezelést a gumók, majd ezután hidegsokk kezelést – hatékonyabb volt, mint a H1.

1. táblázat. *A hőkezelések hatása a vizsgált fajták gumónyugalmi idejére a fajták és évek átlagában kifejezve a Duncan-teszt alapján*

Kezelés (1)	Effektív hőösszeg (°C) (2)	Napok (3)
Kontroll (4)	1890 c	79 d
H1	1622 b	66 b
H2	3059 f	92 e
H3	1910 c	66 b
H4	2290 e	71 c
H5	2125 d	70 c
H6	1376 a	57 a

Megjegyzés: Az oszlopon belüli ugyanazon betűk azt jelzik, hogy az adatok nem különböznek egymástól szignifikánsan a Duncan-teszt alapján ($p \leq 0,05$). A kisbetűk rövidebb nyugalmi időszakot jeleznek ABC sorrendben. A halványszürke cellák jelzik az adott oszlop legrövidebb nyugalmi idejét, míg a sötétszürke cellák jelzik a leghosszabbat. Az eredményeket a tárolás során mért effektív hőösszegben (°C), illetve a betakarítás óta eltelt napok hosszában fejeztük ki. A kapott eredmények a három év és három fajta átlagai.

Table 1. Effect of heat treatments on the tuber dormancy of the investigated cultivars, according to the Duncan-test, expressed as an average of varieties and years. (1) Treatment, (2) Sum of effective temperature (°C), (3) Days, (4) Control, Note: the same letters within each column mean that data do not differ significantly at p value ≤ 0.05 , according to the Duncan-test. Lower letters in alphabetical order indicate shorter dormancy. The light grey cells show the shortest, and the dark grey ones the lowest dormancy within each column. Results are expressed as the sum of effective temperature during the storage (°C) and as days after harvest, also. The results are averages of the three years and three varieties.

Ebben a vonatkozásban *Scholte* (1987), illetve *Suttle* (2007) eredményeit igazolni tudtuk, miszerint a meleg előkezelés hatékonyabb a hideg előkezelésnél. Eredményeink *van Itterstum* és *Scholte* (1992) eredményeit is alátámasztották, akik a hideg előkezelés rövidítő hatását figyelték meg egyes fajták esetében, de a kezelés körülbelül feleolyan hatékony volt, mint a meleg előke-

zelés. *Burton* (1963) eredményeit szintén igazolni tudtuk, miszerint a változó hőmérsékletű tárolás jobban rövidíti a nyugalmi időt, mint az állandó tárolási hőmérséklet.

Az eredmények értékelésénél érdemes különbséget tennünk az *O'Brien et al.* (1983) módszere szerinti effektív hőösszegben, illetve a napokban kifejezett, ah tárolási idő hossza között. A hőösszeg nem minden esetben alkalmas a tárolási idő hosszának objektív megítélésére, mert évről-évre eltérő, hogy az anyanövényeket az adott tenyészidőszakban mekkora hőmérséklet összeg éri, ami módosítja a betakarítás kori élettani kort, közvetve pedig a nyugalmi időt. Ebben a megközelítésben a nyugalmi idő objektív megítéléséhez a napokban és hőösszegben kifejezett nyugalmi időt együttesen célszerű figyelembe venni. Esetünkben a gumókat nem közvetlenül betakarítás után kezeltük, hanem *Carli et al.* (2016) módszere szerint megvártuk a két hetes parásodást. Tehát ez idő alatt a fűtetlen tárolóban is folytatódott az élettani érés, ami a nyugalmi idő hosszának meghatározásakor a napi felvett hőmérséklet összeg beszámításával vehető figyelembe. Ha a gazdaságossági tényezőt is figyelembe vesszük a teljes tárolás során (hűtés-fűtés költsége), a hőösszegnek még nagyobb jelentősége van, mint a napokban kifejezett nyugalmi időnek.

A legnagyobb mértékben a H2 kezelés hosszabbította meg a fajták nyugalmi idejét minden fajta esetében, mindhárom tenyészidőszakban. A növekedés átlagosan 62% (°C), illetve 16% (nap). Ebben az esetben még nagyobb a különbség a hőösszegben és napokban kifejezett nyugalmi idő között, mivel a kontroll és H2 közti hőmérséklet többlet 10 °C naponta. Ebben a vonatkozásban nem tudtuk igazolni *Davidson* (1958), *Wurr* és *Allen* (1976), *Burton* (1978), *Askenova et al.* (2013) megfigyeléseit, miszerint a 30 °C körüli tartós hőhatás kedvez a nyugalom feloldásának.

Rövid ideig tartó hőhatás esetén azonban a nyugalmi idő csökkenését tapasztaltuk (H3 és H5 kezelések). Napokban kifejezve H3 esetében a csökkenés átlagosan 16%, H5 esetében 11% a kontrollhoz képest. A nyugalmi időt hőösszegben kifejezve ellenben nem tapasztaltunk csökkenést, H3 esetében nem volt szignifikáns különbség, H5 esetében pedig enyhe növekedést tapasztaltunk (12%) a kontrollhoz képest. Ebben az esetben is az eltérések a kontrollhoz viszonyított, rövid ideig tartó hőmérséklet többlettel magyarázhatók (30 °C és 35 °C). Ebben a vonatkozásban igazolni tudtuk *van Ittersum* és *Scholte* (1992) eredményeit, tehát a rövid ideig tartó magas hőmérséklet lerövidíti a nyugalmi időt. *Askenova et al.* (2013) megfigyeléseit is alátámasztottuk, a meg-

emelt hőmérséklet kedvez a nyugalom feloldásának és a korai kihajtásnak. *Suttle* (2007) eredményei a vizsgált fajták esetében nem helytállóak, miszerint a különösen magas hőmérséklet (35 °C) a nyugalmi idő azonnali feloldásához vezet.

Tartós hőhatás esetében (H4) szintén csökkenő tendenciát figyeltünk meg a nyugalmi időt napokban kifejezve (10%), viszont növekedést hőösszegben kifejezve (21%). A különbség oka szintén a hosszán tartó magas tárolási hőmérséklet. *Askenova et al.* (2013) megfigyelései ebben az esetben helytállóak, amennyiben a nyugalmi időt napokban vizsgáljuk.

Az eredményeket évekre és fajtákra lebontva a következőkben részletezzük, először a kezelések hatását a tárolóban felvett effektív hőösszegben kifejezve (2. táblázat).

2. táblázat. A hőkezelések hatása a vizsgált fajták gumónyugalmi idejére a tárolás során mért effektív hőösszegben kifejezve (°C)

Kezelés	2017			2018			2019		
	B. rózsa	Botond	Démon	B. rózsa	Botond	Démon	B. rózsa	Botond	Démon
(1) Kontrol	2371 d	1972 b	2152 c	2141 c	1608 bc	1799 c	1747 c	1407 b	1633 c
(2)									
H1	2082 b	1572 a	1834 b	1772 b	1388 a	1564 b	1439 b	1448 b	1504 b
H2	3562 f	2824 e	3619 e	3496 e	3000 e	2902 e	2768 f	2406 e	2952 f
H3	2283 c	1947 b	2070 c	2184 c	1572 b	1895 c	1765 c	1663 c	1811 d
H4	2562 e	2233 c	2423 d	2328 d	1917 d	2148 d	2437 e	2095 d	2463 e
H5	2479 e	2356 d	2475 d	2323 d	1708 c	2252 d	1979 d	1720 c	1831 d
H6	1623 a	1495 a	1570 a	1377 a	1303 a	1207 a	1149 a	1319 a	1343 a

Megjegyzés: Az oszlopon belüli ugyanazon betűk azt jelzik, hogy az adatok nem különböznek egymástól szignifikánsan a Duncan-teszt alapján ($p \leq 0,05$). A kisbetűk rövidebb nyugalmi időszakot jeleznek ABC sorrendben. A halványszürke cellák jelzik az adott oszlop legrövidebb nyugalmi idejét, míg a sötétszürke cellák jelzik a leghosszabbat. Az adatokat a tárolás során mért effektív hőösszegben (°C) fejeztük ki.

Table 2. Effect of heat treatments on the tuber dormancy of the investigated cultivars, expressed as the sum of effective temperature during the storage (°C). (1) Treatment, (2) Control, Note: the same letters within each column mean that data do not differ significantly at p value $\leq 0,05$, according to the Duncan-test. Lower letters in alphabetical order indicate shorter dormancy. The light grey cells show the shortest, and the dark grey ones the lowest dormancy within each column. Results are expressed as the sum of effective temperature during the storage (°C).

2017-ben az összes fajta esetében a leghosszabb volt a nyugalmi idő. A kontrol az előzetes mérési eredményeknek megfelelően alakult, leghosszabb nyu-

galmi ideje a Balatoni rózsának, majd a Démonnak, a legrövidebb a Botondnak volt. A H1 nagymértékben csökkentette a nyugalmi időt. A fajtasorrend megmaradt, tehát a Balatoni rózsa a leghosszabb, a Botond a legrövidebb nyugalmi idővel rendelkezett. Botond esetében a csökkentő hatás statisztikailag egyenértékű a leghatékonyabb, H6 kezeléssel. A H2 növelte leginkább a nyugalmi időt, a kezelés hatására a fajták csírázása elhúzódott. A fajtasorrend megváltozott, ugyanis H2 hatására a Démonnak volt a leghosszabb a nyugalmi ideje. A H3 nem változtatta a fajták nyugalmi idejét, egyedül a Balatoni rózsa esetében tapasztaltunk enyhe csökkentő hatást. A H4 enyhén növelte a nyugalmi időt, a fajták sorrendje megmaradt. A H5 esetében is enyhe növekedést tapasztaltunk, azonban a kezelés kiegyenlítette a fajták közti különbségeket. A nyugalmi idő közel egységes volt mindhárom fajta esetében. A H6 csökkentette a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt, illetve ez a kezelés is kiegyenlítette a fajták közti különbségeket.

2018-ban rövidebb volt a fajták alap nyugalmi ideje az előző tenyésztési időszakhoz képest. Ebben a vonatkozásban feltételezzük, hogy a tenyésztési időszak időjárása hatással van a fajták alap nyugalmi idejére. A kontroll ebben az évben is az előzetes mérési eredményeknek megfelelően alakult. A H1 hatása megegyezik a 2017-ben tapasztaltakkal. H2 esetében szintén elhúzódó csírázást tapasztaltunk, illetve ez a kezelés növelte a leginkább a fajták nyugalmi idejét. A fajták sorrendje ebben a tenyésztési időszakban is megváltozott a kezelés hatására, viszont az előző tenyésztési időszakkal ellentétben itt a Démonnak volt a leghosszabb nyugalmi ideje. A H3 nem változtatta a fajták nyugalmi idejét, ezt statisztikailag is igazolni tudtuk. A H4 enyhén növelte a nyugalmi időt, a fajtasorrend megmaradt. A H5 esetében is enyhe növekedést tapasztaltunk a nyugalmi időben, a fajtasorrend nem változott. A Botond esetében statisztikailag nem volt különbség a kontrollhoz képest. Ebben az évben is a H6 csökkentette a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt, illetve ez a kezelés is nagymértékben kiegyenlítette a fajták közti különbségeket.

2019-ben mértük a legrövidebb alap nyugalmi időt kontroll körülmények között. A H1 a Balatoni rózsánál és a Démonnál csökkentette a nyugalmi időt, részben kiegyenlítve a fajták közti különbségeket. A gumók közel egy időben hajtottak ki. A Botondnál viszont nem találtunk szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest. A fajták sorrendje megváltozott a kezelés hatására. A Botondnak volt a leghosszabb, míg a Balatoni rózsának a legrövidebb a nyugalmi ideje. A nyugalmi időt leghatékonyabban csökkentő, H6 kezelés hatására ha-

sonló tendenciát figyeltünk meg. A korábbi évekkel megegyezően ebben az évben is a H2 eredményezte a leghosszabb nyugalmi időt, elhúzódó csírázással. A fajták sorrendje az előző tenyészidőszakhoz hasonlóan változott. A Démonnál mértük a legnagyobb hőösszeget. Az eddigi megfigyelésekkel ellentétben, ebben az évben a H3 enyhén növelte a nyugalmi időt, a fajtasorrendet változtatva a Démonnál mértük a leghosszabb nyugalmi időt. A H4 nagymértékben növelte a fajták nyugalmi idejét, ennél a kezelésnél is a Démonnak volt a leghosszabb nyugalmi ideje a vizsgált fajták közül. Mivel a Démonnak a leghosszabb a tenyészideje és a betakarítás azonos időpontban történt mindhárom fajta esetében, a kezelés időpontjában ennek a fajtának a gumói lehetnek élettanilag a legfiatalabbak. A Balatoni rózsa és Botond gumói a talajban már bizonyos mennyiségű hőösszeget felvettek, élettanilag idősebbek voltak, ennek következtében hajthattak ki hamarabb a tartósan magas hőmérsékletű tárolás hatására. A H5 hatására is emelkedést tapasztaltunk a nyugalmi időben, ez a kezelés azonban a fajtasorrendet nem változtatta meg.

Amennyiben vizsgálati eredményeinket napokban kifejezve értékeljük, úgy gyakorlati szempontból könnyebben értelmezhető eredményeket kapunk (3. táblázat).

2017-ben a kontroll az előzetes mérési eredményeknek megfelelően alakult, leghosszabb nyugalmi ideje a Balatoni rózsának, majd a Démonnak, a legrövidebb a Botondnak volt. A legnagyobb mértékben a H6 kezelés csökkentette a nyugalmi időt, a fajták közti különbségeket nagymértékben kiegyenlítette, a fajták sorrendjét is megváltoztatta. A Balatoni rózsa esetében mértük a legrövidebb nyugalmi időt. A H1 szintén nagymértékben csökkentette a nyugalmi időt, a Botond esetében a H6 kezeléssel egyenértékűen. A H3 és H4 kezelések minden fajta esetében, egymással egyenlő mértékben csökkentették a nyugalmi időt, a fajtasorrendet megtartva. H5 esetében a Botond kivételével szintén csökkenést tapasztaltunk, azonban a fajtasorrend változott, a leghosszabb nyugalmi ideje a Démonnak, a legrövidebb a Balatoni rózsának volt. A H2 a Botond kivételével meghosszabbította a nyugalmi időt, illetve elhúzódó csírázást eredményezett. A fajták sorrendje is megváltozott, a Démon esetében mértük a leghosszabb csíranyugalmat.

Napokban kifejezve, kivéve a Botondot, 2018-ban volt a fajták alap nyugalmi ideje a leghosszabb, míg hőösszegben kifejezve ez a 2017-es évre volt igaz. Ez a megfigyelés a gumók parásodás alatti időszakban felvett effektív hőösszegével magyarázható, 2017-ben ugyanis magasabb volt a tárolási hőmérséklet

ebben az időszakban, mint 2018-ban, mivel magasabb volt az átlagos nappali léghőmérséklet. Hasonlóan az előző tenyészidőszakhoz, a H6 csökkentette a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt, kiegyenlítette a fajták közti különbséget, megváltoztatva a fajták közötti sorrendet. Itt a Démon esetében mérjük a legrövidebb nyugalmi időt.

3. táblázat. A hőkezelések hatása a vizsgált fajták gumónyugalmi idejére a betakarítás óta eltelt napok számában kifejezve

Kezelés	2017			2018			2019		
	(1) B. rózsza	Botond	Démon	B. rózsza	Botond	Démon	B. rózsza	Botond	Démon
Kontrol (2)	96,1 d	83,6 c	88,9 d	102,1 d	75,4 c	93,9 d	64,5 d	47,9 b	58,5 c
H1	81,6 c	63,6 a	72,9 b	83,6 b	64,4 b	73,2 b	49,1 b	50,0 b	52,0 b
H2	103,7 e	84,1 c	108,1 e	113,2 e	96,7 d	93,4 d	77,1 f	65,3 d	82,9 e
H3	77,7 b	68,3 b	70,7 b	90,2 c	59,6 a	75,7 b	51,5 bc	46,7 b	53,3 b
H4	77,6 b	68,7 b	74,4 b	83,4 b	62,9 ab	74,4 b	71,1 e	54,3 c	71,9 d
H5	80,5 bc	81,8 c	84,0 c	90,1 c	59,4 a	86,6 c	55,1 c	42,6 a	47,3 a
H6	62,2 a	63,3 a	63,3 a	67,3 a	63,7 ab	58,9 a	38,1 a	47,1 b	47,5 a

Megjegyzés: Az oszlopon belüli ugyanazon betűk azt jelzik, hogy az adatok nem különböznek egymástól szignifikánsan a Duncan-teszt alapján ($p \leq 0,05$). A kisbetűk rövidebb nyugalmi időszakot jeleznek ABC sorrendben. A halványzürke cellák jelzik az adott oszlop legrövidebb nyugalmi idejét, míg a sötétzürke cellák jelzik a leghosszabbat. Az adatokat a betakarítás óta eltelt napok számában adtuk meg.

Table 3. Effect of heat treatments on the tuber dormancy of the investigated cultivars, expressed as days after harvest. (1) Treatment, (2) Control, Note: the same letters within each column mean that data do not differ significantly at p value $\leq 0,05$, according to the Duncan-test. Lower letters in alphabetical order indicate shorter dormancy. The light grey cells show the shortest, and the dark grey ones the lowest dormancy within each column. Results are expressed as days after harvest.

Ebben az évben azonban a többi tenyészidőszakhoz képest elhúzódó csírázást tapasztaltunk a H6 esetében. A H1 szintén nagymértékben csökkentette a nyugalmi időt, de a fajták sorrendje nem változott. A H3, H4 és H5 szintén csökkentették a nyugalmi idejét a fajtáknak, a fajtasorrendet megtartva. A Botond esetében a H3, H4, H5 és H6 kezelések közt statisztikailag nem volt különbség, mindegyik kezelés hatékonyan csökkentette a fajta nyugalmi idejét. A H2 ebben az évben is elhúzódó csírázást eredményezett, a kezelés növelte a nyugalmi időt, a Démon kivételével, ennél a fajtánál a kontrollal meg-

egyező nyugalmi időt mértünk. Ettől függetlenül a Botond nyugalmi ideje hosszabb volt, mint a Démoné, a kezelés ezért megváltoztatta a fajtasorrendet. A Botond kiugró eredményei szintén az élettani korral magyarázhatóak.

2019-ben az előző tenyészidőszakokhoz képest sokkal kisebb különbségeket tapasztaltunk a kezelések között. A nyugalmi idő kontroll körülmények között ebben az évben volt a legalacsonyabb. Szintén a H6 csökkentette a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt, a fajták sorrendje is megváltozott. A Démoné volt a leghosszabb, a Balatoni rózsáé a legrövidebb nyugalmi idő. A Botond esetében nem találtunk szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest. Ebben az évben a H5 csökkentette a H6-hoz hasonlóan nagymértékben a nyugalmi időt, míg a fajtasorrend nem változott. A H1 és H3 szintén csökkentette a nyugalmi időt, azonban a Botond esetében nem tapasztaltunk igazolható különbséget a kezelések hatására. A fajták sorrendje megváltozott, mindkét esetben a Démonnak volt a leghosszabb a nyugalmi ideje. Ebben az évben, a korábbiaktól eltérően, a H4 hatására enyhén nőtt a nyugalmi idő, és a Démon fajtánál mértük a leghosszabb a nyugalmi időt. H2 esetében pedig minden fajta esetében nőtt a nyugalmi idő, a csírázás elhúzódott, bár nem olyan mértékben, mint a korábbi tenyészidőszakokban. A fajtasorrend megváltozott, ebben az esetben is a Démonnak volt a leghosszabb a nyugalmi ideje. Ez a jelenség ebben az esetben is a Démon betakarításkor élettanilag fiatalabb gumóival magyarázható.

Eredményeink alapján *Brandt et al.* (2003) megfigyelései csak alacsony hőmérsékletű kezelés hatására helytállóak. Eszerint különböző alacsony hőmérsékletű kezelés hatására a nyugalmi idő változik. A magasabb alap nyugalmi idővel rendelkező fajta azonban a kezelések hatására is magasabb nyugalmi idővel rendelkezik, az azonos kezelésben részesített, rövidebb alap nyugalmi idejű fajtához képest, tehát a fajták sorrendje megmarad. Kontroll esetében ezt az eredmény kaptuk, azonban a hőkezelések mindegyike tartalmazott legalább két hetes 30 °C, vagy afeletti kezelést. Ezen a magas hőmérsékleten ez a megfigyelés a vizsgált fajták esetében nem helytálló. Ugyanis a H2 és H6 esetében minden tenyészidőszakban, a többi kezelések esetében legalább egy tenyészidőszakban a fajták sorrendje megváltozott.

Wurr és Allen (1976) és *Harkett* (1981) eredményei szerint a hűtés lerövidíti a nyugalmi időt néhány hosszú nyugalmi idejű fajta esetén. Vizsgálatainkban a Balatoni rózsáé és Démoné hosszú, míg a Botond rövid alap nyugalmi idővel rendelkezett. A hidegsokk mindhárom fajta esetében csökkentette a

nyugalmi időt, tehát eredményeink szerint a kezelés eredményessége nem függött a fajta alap nyugalmi idejétől. *Scholte* (1987) szerint a melegebb hőmérséklet a tárolás korai szakaszában jelentősen csökkentheti a nyugalmi időt, ez a hatás a tárolás későbbi szakaszában nem érhető el, illetve a fajták különbözőképp reagálnak a kezelésekre. Vizsgálatunkban a magas hőmérsékletű előkezelés csökkentette a legnagyobb mértékben a nyugalmi időt, ezzel igazolni tudtuk a megfigyelését. Azonban a hősokk utókezelés (H1) is hatékonyan csökkentette a nyugalmi időt. Ebben a tekintetben csak részben tudjuk igazolni megfigyelését, illetve a fajták hasonlóképp reagáltak a kezelésre, ami kiegyenlítette a fajták közti különbségeket. *Van Itterstum* és *Scholte* (1992) megfigyelései alapján a tartós magas hőmérsékletű tárolás nyugalmi időt rövidítő hatása akkor érvényesül, ha a fajta alap nyugalmi ideje hosszú. Nagyon rövid alap nyugalmi idejű fajták hosszabb nyugalmi időt mutatnak a melegebb tárolás után. Vizsgálatainkban hosszú és rövid alap nyugalmi idejű fajtákat is teszteltünk, és nem tapasztaltunk különbséget a fajták között ugyanazon kezelés hatására. Valószínűleg a megfigyelés a fajták tenyészidejével van összefüggésben. A rövid tenyészidejű fajtákat később takarítottuk be, s mivel a gumók már a talajban felvettek bizonyos hőösszeget, ezért élettani koruk előrehaladottabb volt és nyugalmi idejük hamarabb járt le.

Eredmények alapján gyakorlati szempontból a nyugalmi idő rövidítése viszonylag kis energia befektetéssel, rövid ideig tartó, magas hőmérsékletű, majd azt követő hideg előkezeléssel megoldható. Ha a nyugalmi idő meghosszabbítása a cél, akkor téli időszakban a tartósan magas hőmérsékletű tárolás a nagy energiaigény miatt nem lehet gazdaságos. A legköltséghatékonyabb megoldás a gyakorlatban is használt, alacsony hőmérsékletű tárolás. Nyári időszakban azonban, amennyiben szükséges a vetőgumók hosszabb ideig tartó eltárolása, eredményes lehet az állandó magas hőmérsékletű tárolás.

Irodalom

- Aksenova, N. P.–Sergeeva, L. I.–Konstantinova, T. N.–Golyanovskaya, S. A.–Kolachevskaya, O. O.–Romanov, G. A.*: 2013. Regulation of Potato Tuber Dormancy and Sprouting. *Russian Journal of Plant Physiology*. 60: 301–312.
- Bamberg, J.*: 2010. Tuber dormancy lasting eight years in the wild potato *Solanum jamesii*. *Am. J. Potato Res.* 87: 226–228.

- Benkeblia, N.–Alexopoulos, A. A.–Passam, H. C.*: 2008. Physiological and Biochemical Regulation of Dormancy and Sprouting in Potato Tubers (*Solanum tuberosum* L.). *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*. 2: 54–68.
- Beukema, H. P.–van der Zaag, D. E.*: 1979. Dormancy and sprout growth [In: Beukema and van der Zaag (eds.) *Potato Improvement.*] International Agricultural Centre. Wageningen. 26–36.
- Beukema, H. P.–van der Zaag, D. E.*: 1990. Introduction to potato production. Pudoc. Wageningen.
- Brandt, T. L.–Kleinkopf, G. E.–Olsen, N.–Love, S. L.*: 2003. Storage management for Umatilla Russet potatoes. University of Idaho. Coop Ext. Bul. 839.
- Burton, W. G.*: 1963. Concepts and mechanisms of dormancy [In: Irvin and Milthorpe (eds.) *The growth of the potato.*] Butterworths. London. 17–40.
- Burton, W. G.*: 1978. The physics and physiology of storage [In: Harris, P. M. (ed.) *The potato crop.*] Chapman and Hall. London. 545–606.
- Burton, W. G.*: 1989. Dormancy and sprout growth [In: Burton, W. G. (ed.) *The Potato*. 3rd Edition.] Longman Scientific and Technical. Essex. 470–504.
- Carli, C.–Mihovilovich, E.–Bonierbale, M.*: 2016. Procedures for Standard Evaluation and Data Management of Advanced Potato Clones. Module 4: Assessment of Dormancy and Sprouting Behavior of Elite and Advanced Clones. International Potato Center (CIP). Lima.
- Coleman, W. K.*: 1983. An evaluation of bromoethane for breaking tuber dormancy in *Solanum tuberosum* L. *Am. J. Potato Res.* 60: 161–167.
- Davidson, T. M. V.*: 1958. Dormancy in the potato tuber and the effects of storage conditions on initial sprouting and on subsequent sprout growth. *Am. Pot. J.* 35: 451–465.
- Esztergályos Á.–Polgár Zs.–Cernák I.*: 2018. Keszthelyi burgonyafajták gumónyugalmi idejének vizsgálata [In: Karsai és Polgár (szerk.) XXIV. Növénynemesítési Tudományos Nap – Összefoglalók.] XXIV. Növénynemesítési Tudományos Nap. Budapest. 55.
- Ezekiel, R.–Singh, B.*: 2003. Influence of relative humidity on weight loss in potato tubers stored at high temperatures. *Indian Journal of Plant Physiology*. 8: 141–144.
- Grudzińska, M.*: 2012. Influence of weather and storage conditions on technological characteristics of potato in French fries and chips production. *Bulletin of Plant Breeding and Acclimatization Institute*. 265: 137–148.
- Grudzińska, M.–Mańkowski, D.*: 2018. Losses during Storage of Potato Varieties in Relation to Weather Conditions during the Vegetation Period and Temperatures during Long-Term Storage. *Am. J. Potato Res.* 95: 130–138.
- Harkett, P. J.*: 1981. External factors affecting length of dormant period in potatoes. *J. Science, Food Agric.* 32: 102–103.
- Nasiruddin, M.–Khatun, R.–Haydar, F. M. A.–Imtiaj, A.–Alam, M. F.*: 2016. Effect of physical and chemical treatments on sprouting of dormant potato tubers. *Plant Environment Development*. 5: 24–27.

- O'Brien, P. J.-Allen, E. J.-Bean, J. N.-Griffith, R. L.-Jones, S. A.-Jones, J. L.:* 1983. Accumulated day-degrees as a measure of physiological age and the relationships with growth and yield in early potato varieties. *The Journal of Agricultural Science*. 101: 613-631.
- Scholte, K.:* 1987. Relation between storage T sum and vigour of seed potatoes [In: Struik, P. C.-Wiersema, S. G. (eds.) *Seed potato technology.*] Wageningen Pers. Wageningen. 95-134.
- Struik, P. C.-Lommen, W. J. M.:* 1999. Improving the field performance of micro and mini-tubers. *Potato Res.* 42: 559-568.
- Struik, P. C.-Wiersema, S. G.:* 1999. Control and manipulation of physiological seed tuber quality [In: Struik and Wiersema (eds.) *Seed potato technology.*] Wageningen Pers. Wageningen. 95-134.
- Suttle, J. C.:* 2004. Physiological Regulation of Potato Tuber Dormancy. *Am. J. Potato Res.* 81: 253-262.
- Suttle, J. C.:* 2007. Dormancy and Sprouting [In: Vreugdenhil, D. (ed.) *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives.*] Elsevier. Amsterdam. 287-309.
- Tiemens, H. M.-Delleman, J.-Eising, J.-Lammerts, E. T. van B.:* 2013. *Potato breeding. A practical manual for the potato chain.* Aardappelwereld BV. The Hague.
- Tor, J. J.:* 2011. Influence of Temperature and Day-length on Dormancy in Seed Potato cv. 'Asterix'. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology.* 5: 55-61.
- van der Zaag, D. E.-van Loon, C. D.:* 1987. Effect of physiological age on growth vigour of seed potatoes of two cultivars. 5. Review of literature and integration of some experimental results. *Potato Res.* 30: 451-472.
- van Ittersum, M. K.:* 1992. Variation in the duration of tuber dormancy within a seed potato lot. *Eur. Pot. J.* 35: 261-269.
- van Ittersum, M. K.-Scholte, K.:* 1992. Shortening dormancy of seed potatoes by storage temperature regimes. *Potato Research.* 35: 389-401.
- Wiersema, S. G.:* 1985. Physiological development of potato seed tubers. *Technical Information Bulletin 20.* International Potato Center (CIP). Lima.
- Wróbel, S.-Kęsy, J.-Treder, K.:* 2017. Effect of Growth Regulators and Ethanol on Termination of Dormancy in Potato Tubers. *Am. J. Potato Res.* 94: 544-555.
- Wróbel, S.:* 2008. Early dormancy breaking of tubers in fast virus diagnostic for new potato cultivars. *Progress in Plant Protection.* 48: 552-555.
- Wurr, D. C. E.-Allen, E. J.:* 1976. Effects of cold treatments on the sprout growth of three potato varieties. *J. Agric. Sci.* 86: 221-224.
- Zarzyńska, K.:* 2004. The length of tuber dormancy period in new potato cultivars. *Biuletyn IHAR.* 232: 5-14.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Polgár Zsolt – Esztergályos Ádám
Szent István Egyetem
Burgonyakutatói Központ
Keszthely
Festetics György utca 7.
H-8360
*zsolt.polgar@hotmail.com

Putreszcín által indukált válaszreakciók különbségei különböző *Rht* búza törzsekben ozmotikus körülmények között

¹PÁL MAGDA – ¹BETI IVANOVSKA – ¹DARKÓ ÉVA – ²SVETLANA P. MISHEVA –

¹JANDA TIBOR – ³NESMA ELSAYED – ³RADWAN KHALIL – ¹MAJLÁTH IMRE

¹Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet, Martonvásár

²Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics,
Sofia, Bulgaria

³Benha University, Faculty of Science, Botany Department,
Benha, Egypt

Összefoglalás

Tanulmányunkban a putreszcín előkezelés hatását vizsgáltuk, amely normál körülmények között igazoltan kedvezőnek bizonyult az *Rht* búza törzsekben. Az *Rht-B1c* allélt hordozó törpe vonal (*Rht 3*) fiziológiai állapotát és néhány biokémiai paraméterét meghatározva megállapítottuk, az *Rht 3* a vad típusú genotípussal (*Rht*) összehasonlítva ellenállóbbnak bizonyult az ozmotikus stresszel szemben putreszcín előkezelést követően

Vizsgáltuk a gázcseré-paramétereket, a lipidperoxidáció szintjét, a prolintartalmat, valamint a poliaminok mennyiségét, putreszcín előkezeléssel vagy anélkül alkalmazott PEG-indukált ozmotikus stressz során vad és törpe mutáns törzsekben.

Stresszmentes körülmények esetén nem volt kimutatható különbség az *Rht* törzsek között a gázcseré-paraméterekben és a prolintartalomban, míg a poliamin-tartalomban jelentős eltéréseket figyeltünk meg. Az *Rht 3*-ra kisebb putreszcín- és spermidin-tartalom volt jellemző, különösen a gyökerekben, és nagyobb sperminszint a levélben a vad típushoz képest.

Annak ellenére, hogy az *Rht 3* mutáns toleránsabbnak bizonyult, a PEG-kezelés hasonló változásokat váltott ki mindkét genotípusban; a prolin- és poliamin-tartalom is

megemelkedett. Azonban a toleráns *Rht* 3 törzsben nagyobb prolinfelhalmozódás mér-tünk. A fenti mérések megerősítették, hogy az *Rht* 3 vonal ellenállóbb ozmotikus stresszel szemben, mint a vad típus, ami kapcsolatban áll a nagyobb mértékű prolin-felhalmozódással. A putreszcín előkezelés módosította a PEG-indukált ozmotikus stressz-válaszokat a prolin-, valamint a poliamin-tartalom esetében is, ugyanakkor a várakozá-sokkal ellentétben csak az *Rht* 3 esetében volt kimutatható enyhe pozitív hatás. Ez a ha-tás a gyökérben mért alacsonyabb a lipid-peroxidációban, illetve a levél magasabb pro-lin szintjében nyilvánult meg a mutáns növényekben a kombinált kezelést követően.

Eredményeink szerint a poliamin-kezelés előnyösebb lehet a törpe vonal számára a tapasztalt válaszreakciók alapján. A poliaminok mennyiségi változásainak finom sza-bályozása lehet felelős a poliaminok kedvező és kedvezőtlen hatásai közötti átmenetért, azaz az *Rht* törzsekben megfigyelt különbségekért.

Rövidítések – DAP: 1,3-diaminopropán; MDA: malondialdehid; PA: poliamin; PUT: putreszcín; *Rht*: vad típusú búza törzs, *Rht* 3: törpeségért felelős allélt tartalmazó mu-táns búza törzs, SPD: spermidin; SPM: spermin.

Kulcsszavak: gázcseré-paraméterek, poliaminok, oxidatív stressz, prolin, törpe búza

Differences in response induced by putrescine in various *Rht* lines under osmotic conditions

¹M. PÁL – ¹B. IVANOVSKA – ¹É. DARKÓ – ²S. P. MISHEVA – ¹T. JANDA –
³NESMA ELSAYED – ³RADWAN KHALIL – ¹I. MAJLÁTH

¹Centre of Agricultural Research, Institute of Agriculture,
Martonvásár, Hungary

²Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics,
Sofia, Bulgaria

³Benha University, Faculty of Science, Botany Department,
Benha, Egypt

Summary

In order to investigate the impact of putrescine pre-treatment - which has been proved to be beneficial under normal conditions in *Rht* wheat lines - the physiological status

and some biochemical parameters of dwarf line carrying the alleles *Rht-B1c* (*Rht 3*) were tested under osmotic stress compared to the wild, tall genotype (*Rht*).

Gas exchange parameters, level of lipid peroxidation, and the contents of proline and polyamines have been determined with or without putrescine pre-treatment under PEG-induced osmotic stress in the wild and dwarf mutant lines.

No pronounced differences could be detected between the *Rht* lines in the gas exchange parameters or the proline content under control conditions, while pronounced alteration was observed in the polyamine contents. The *Rht 3* dwarf showed lower putrescine and spermidine contents, especially in the roots, but higher leaf spermine level compared to the wild-type. Despite the fact that the *Rht 3* mutant was more tolerant to osmotic stress, PEG treatment induced similar changes in both lines; increased proline and polyamine contents, but the tolerant mutant accumulated higher proline level. Our results confirmed that *Rht 3* line is more tolerant to drought stress than the wild type *Rht* line, which is in relation with the higher accumulation of proline. Although, putrescine pre-treatment modified the PEG-induced osmotic stress responses regarding on proline and polyamine pool, contrary to expectations it has only slight positive effects only in the *Rht 3*, as lower lipid peroxidation in the roots, and higher proline level was detected in the leaves of the mutant after the combined treatment.

According to our results, responses to excess of polyamines and thus the more activated polyamine metabolism can be more advantageous for dwarf line, and the fine balance in the polyamine pool may be responsible for a shuttle between the beneficial and deleterious effects of polyamines, which may be responsible for the differences induced in the *Rht* lines.

Abbreviations - DAP: 1,3-diaminopropane; MDA: malondialdehyde; PA: polyamine; PUT: putrescine; *Rht*: wild wheat line, *Rht 3*: mutant wheat line containing the allele for dwarfism, SPD: spermidine; SPM: spermin.

Key words: dwarf wheat, gas exchange parameters, oxidative stress, polyamines, proline

Различия ответных реакций, вызванных путресцином, в разных *Rht* родах пшеницы в осмотических условиях

¹М. ПАЛ – ¹Б. ИВАНОВСКА – ¹Е. ДАРКО – ²С. Р. МИШЕВА – ¹Т. ЯНДА –

³НЕСМА ЭЛСАЕД – ³РАДВАН ХАЛИЛ – ¹И. МАЙЛАТ

¹Исследовательский Центр Аграрных Наук, Институт Сельского Хозяйства,
Мартонвашар, Венгрия

²Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Plant Physiology and Genetics,
Sofia, Bulgaria

³Benha University, Faculty of Science, Botany Department, Benha, Egypt

Резюме

В нашей работе исследовали влияние предварительной обработки путресцином, которое в нормальных условиях оказалось доказуемо благоприятным в *Rht* племенах пшеницы. Определив физиологическое состояние и несколько биохимических параметров носящей аллели *Rht-B1c* карликовой линии (*Rht 3*), установили, что *Rht 3* по сравнению с генотипом дикого типа (*Rht*) оказалась более устойчивой к осмотическому стрессу вследствие предварительной обработки путресцином.

Исследовали параметры обмена газа, уровень липидпероксидации, содержание пролина, а также количество полиаминов, в ходе применённого с предварительной обработкой путресцином или без этого в ходе вызванного PEG осмотического стресса, в диких и карликовых мутантных племенах.

В случае безстрессовых обстоятельств не было возможным показать разницу между племенами *Rht* в параметрах обмена газа и в содержании пролина, а в содержании полиамина наблюдали значительные различия. Для *Rht 3* было характерно меньшее содержание путресцина и спермидина, особенно в корнях, и больший уровень спермина в листьях по сравнению с диким типом.

Несмотря на то, что мутант *Rht 3* оказался более толерантным, PEG обработка вызвала похожие изменения в обоих генотипах; содержание пролина и полиамина также выросло. Однако в толерантном, *Rht 3* роде измерили большее накопление пролина. Вышеуказанные измерения подтвердили, что линия *Rht 3* более устойчива к осмотическому стрессу, чем дикий тип, что связано с большей величиной накопления пролина. Предварительная обработка путресцином изменила индуцированные PEG ответы на осмотические стрессы в случае содержания пролина, и полиами-

на также, в то же время в отличии от ожиданий только в случае Rht 3 было возможно показать слабое позитивное влияние. Это влияние проявилось в измеренной в корне более низкой липидпероксидации, а также в более высоком уровне пролина листьев в мутантных растениях вследствие комбинированной обработки.

Согласно нашим результатам обработка полиамином может быть более выгодной для карликовой линии на основе обнаруженных ответных реакций. Аккуратное регулирование изменений количества полиаминов может быть ответственным за переход от благоприятных к неблагоприятным влияниям полиаминов, т.е. за наблюдаемые в родах *Rht* различия.

Сокращения – DAP: 1,3-диаминопропан; MDA: малондиальдегид; PA: полиамин; PUT: путресцин; *Rht*: род пшеницы дикого типа, Rht 3: род пшеницы мутант, содержащий ответственные за карликовость аллели, SPD: спермидин; SPM: спермид.

Ключевые слова: параметры газообмена, полиамины, окислительный стресс, пролин, карликовая пшеница

Bevezetés

Számos olyan természetben előforduló kémiai anyag létezik, mely képes a növények stresszérzékenységét csökkenteni. Vizsgálatuk kiemelten fontos a termőhelyek folyamatosan változó környezeti körülményei miatt.

A poliaminok (PA) az összes élő sejtben megtalálható kis molekulatömegű, polikationos tulajdonságú, szerves vegyületek. A növényekben a legnagyobb mennyiségben előforduló és leggyakrabban vizsgált PA-ok a putreszcin (PUT) és származékai, a magasabb rendű PA-ok, a spermidin (SPD) és a spermin (SPM). A PA-ok metabolizmusának bioszintetikus útjáról és főbb enzimjeiről átfogó adatokkal rendelkezünk (*Pál et al.* 2015). Röviden ismertetve, a PUT létrejöhet az ornitin dekarboxilezésével, az ornitin-dekarboxiláz (ODC) katalizálta reakcióban, vagy közvetett úton az agmatinon keresztül, az arginin dekarboxilezésével, az arginin-dekarboxiláz (ADC) hatására. A magasabbrendű PA-ok (SPD és SPM) a PUT-ből keletkeznek aminopropil-csoportok sorozatos kapcsolódásával, a spermidin-szintáz (SPDS), valamint a spermin-szintáz enzimekkel (SPMS) katalizált reakciókban. A PA-ok lebontását a diamin-oxidáz (DAO) és a poliamin-oxidázok (PAO) katalizálják az apoplastban. Előbbiek a

PUT-re és – a lizinből szintetizálódó – kadaverinre, utóbbiak a SPD-re és SPM-re specifikusak. A PA-készlet időben dinamikusan változik, és a PA-ciklus során egymás közötti átalakulásuk meglehetősen gyorsan végbemegy. A SPD és SPM végső lebontását katalizáló oxidázok (DAO és PAO) mellett a lúdfűben öt, a rizsben három olyan PAO enzimet mutattak ki, amelyek részt vesznek a SPM SPD-né, és a SPD PUT-né történő részleges és/vagy teljes visszaalakításában a peroxiszómákban.

A PA-ok szerepe különféle növényi folyamatokban már bizonyítást nyert, beleértve a sejtosztódás és differenciálódás, transzkripció és transzláció, valamint a fotoszintézis, a biológiai membránok stabilizálása, egyes enzimek aktivitásának növelése, valamint az iontranszport vagy egyes hormonhatások befolyásolása (*Kakkar és Sawhney 2003, Alcázar et al. 2010*). Ezen felül egyre több esetben összefüggést találtak a PA-ok felhalmozódása és az abiotikus és biotikus stressztolerancia között (*Kuznetsov és Shevyakova 2007, Kusano et al. 2008*).

Korábbi munkánk során búza- és kukoricanövényekben bizonyítottuk, hogy a PUT-előkezelésnek védő hatása van ozmotikus stressz során, ahol az indukálódott PA-metabolizmus, valamint a PA-ok és a szalicilsav nevű növényi hormon közötti kapcsolat volt felelős a PUT védőhatásáért (*Szalai et al. 2017*). A PUT-előkezelés pozitív hatásait a növények növekedésére kontroll körülmények között is megfigyeltük törpe búza törzsből, mely a csökkent magasság, azaz a törpe fenotípusért felelős *Rht-B1c* allélt hordozta. A törpe mutáns intenzívebb PA-katabolikus aktivitást mutatott összehasonlítva a félig törpe vagy a vad típusú törzsekkel, és az exogén PUT-kezelés után a biomassza-termelés megemelkedett (*Pál et al. 2019*).

Jelentősen megnövelte a búzanövények hozamát az alacsony növénymagasságot eredményező *Rht-B1b* és *Rht-D1b* félig törpe allélek alkalmazása, mely mutációk a giberellin jelátvitel defektusát eredményezik (*Wu et al. 2011, Li et al. 2012, Van De Velde et al. 2017*). Bizonyított továbbá, hogy az *Rht-B1c* allélt hordozó törpe búzanövények nagyobb fokú szárazság- és kadmiumtoleranciát mutatnak, mint a megfelelő vad típusú, *Rht-B1a* allélt hordozó genotípusok (*Nenova et al. 2014, Dobrikova et al. 2017*). A törpeségért felelős gének stresszhatásokkal szembeni alkalmazkodási mechanizmusokra gyakorolt hatásait azonban még mindig nem sikerült teljes mértékben megérteni. Tudomásunk szerint a PA-kezeléseknek az ozmotikus stressz körülmények közötti hatását a törpe búza genotípuson még nem vizsgálták.

A PA-ok növényi válaszokban betöltött szabályozó szerepének megértése új lehetőséget kínálhat alkalmazásuk révén a stressztolerancia serkentésére, valamint a növényvédelem területén nagyszabású gazdasági módszerek kidolgozására.

A jelen kísérletben a törpe és a vad típusú búzatörzseken hét napig tartó külsőleg adagolt 0,5 mM PUT előkezelést alkalmaztunk hidropónikus (tápol-datos) formában a következő kérdések megválaszolására: 1. Van-e különbség az ozmotikus stressz által kiváltott PA-tartalombeli változások között a két genotípusban? 2. Rendelkezik-e a PUT-előkezelés védőhatással ozmotikus stresszkörülmények között a két *Rht* vonal esetében? 3. Ha a PUT-nek van pozitív hatása, milyen kapcsolat lehet a kedvező hatás és a PA-metabolizmus között?

Anyag és módszer

Növény anyag és nevelési körülmények

A kísérletben búza (*Triticum aestivum* L.) „April Bearded” fajta közel-izogén vonalait; az *Rht-B1c* allélt hordozó törpe (*Rht* 3) és az *Rht-B1a* allélt hordozó magas növésű, azaz vadtypust (*Rht*) használtuk. Az *Rht* 3 vonalakat *Flintham et al.* (1997) fejlesztették ki, amelyet a gaterslebeni Növénygenetikai és Gazdaságinövény-Kutató Leibniz Intézet (Leibniz Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research; IPK) génbankjában tartanak fenn, és a Bolgár Tudományos Akadémia Növényélettani és Genetikai Intézetének (Institute of Plant Physiology and Genetics, Bulgarian Academy of Sciences) kísérleti parcelláin szaporítanak.

A búzmagokat három napig csíráztattuk 26 °C-on, sötétben, nedves szűrőpapíron. Ezt követően a csíranövényeket 0,4 l űrtartalmú műanyag edényekben (15 növény/edény) neveltük Conviron GB-48 növénynevelő kamrában (Controlled Environments Ltd, Winnipeg, Kanada) módosított Hoagland-oldatban (*Pál et al.* 2005) 22/20 °C nappali/éjszakai hőmérsékleten, 16/8 órás világos/sötét periódus alatt, 250 $\mu\text{mol m}^2/\text{s}$ fotoszintetikusan aktív foton fluxus (PPFD) és 75% relatív levegő páratartalom mellett.

A tíznapos búzanövényeket tovább neveltük stresszmentes körülmények között, illetve egy részüket hét napig hidropónikusan 0,5 mM PUT-nel kezeltük. A hét nap elteltével a gyökereket desztillált vízben kétszer átmostuk, majd az így kapott két csoport egyik felét kontroll körülmények között további öt napig neveltük (kontroll: C vagy PUT előkezelt: PUT), míg a másik felét öt napig

15% PEG-6000 kezelésnek tettük ki (kontroll + PEG: PEG vagy PUT-nel előkezelt + PEG: PUT + PEG). A tápoldatot minden kezelés esetében kétnaponta cseréltük. A tápoldatcsere során a növénynevelő edényeket véletlenszerűen újra rendeztük. Mind a négy kezelés esetében levél- és gyökérmintákat szedtünk, melyeket a feldolgozásig fagyasztóban tároltuk $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on. A mintagyűjtés során valamennyi kezelés esetében minimum hat növénynevelő edény (15 növény/edény) növénygyedei kerültek feldolgozásra. A teljesen kifejtett harmadik és negyedik levelek alapi és csúcsi részének eltávolítása után, a középső levél-szegmensekkel dolgoztunk tovább. A gyökereket kétszer mostuk át desztillált vízzel, melyet a minták kimérése előtt óvatosan felitattunk.

Gázcsere-paraméterek mérése

A gázcsere-analízist az ötnapos PEG-kezelés végén, az utolsó teljesen kifejtett harmadik, illetve negyedik leveleken LI-6400 műszerrel végeztük (LI-COR, Lincoln, Nebraska, USA) Szalai *et al.* (2017) által leírtak szerint. A vizsgált paraméterek, P_n : CO_2 asszimilációs ráta; Ci: intracelluláris CO_2 koncentráció; gs: sztóma konduktancia és E: transzspiráció.

Prolintartalom meghatározása

A levél- és gyökérminták prolintartalmát spektrofotometriásan határoztuk meg Bates *et al.* (1973) módszere szerint, 520 nm-en (UV-Visible 160A spektrofotométer, Shimadzu Corp., Kyoto, Japán).

Lipidperoxidáció meghatározása

A levél- és gyökérmintákban a lipidperoxidáció meghatározása a malondialdehid (MDA) tartalom mérésén alapult. A spektrofotometriás meghatározás Thomas *et al.* (2004) módszere szerint történt (UV-Visible 160A spektrofotométer, Shimadzu Corp., Kyoto, Japán).

Poliamin-tartalom meghatározása

A PA-ok analízisét Németh *et al.* (2002) által meghatározott módszer szerint végeztük el. A levél- és gyökérmintákat folyékony nitrogénben elporítottuk, majd 0,2 N perklórsavval extraháltuk. Centrifugálás után a felülúszóval dolgoztunk tovább. A származékképzéshez danzil-kloridot használtunk. A fordított fázisú HPLC elválasztás után (Kinetex oszlop $5\text{ }\mu\text{m}$ (C18) 100x2.1 mm, Phenomenex, Inc. Kalifornia, USA) fluoreszcens detektorral (W474 scanning

fluorescence detector, Waters, Milford, USA) 340 nm gerjesztési és 515 nm emissziós hullámhosszon történt a mennyiségi meghatározás.

Statisztika

Eredményként három egymástól független kísérlet legrepresentatívabb adatai kerültek bemutatásra. Az ábrázolt értékek a fotoszintézis aktivitásmérések, a fotometriás mérések és a HPLC analízisek öt mérési ismétlésének átlagai alapján lettek feltüntetve. A paraméterek változásait az azonos napos kontroll növényekben mért értékekhez hasonlítottuk. A szignifikancia vizsgálatához Student-féle kétmintás t-próbát használtunk.

Eredmények

Putreszcín-előkezelés és/vagy ozmotikus stressz hatása az Rht és Rht 3 búzavonalak fotoszintézisére

A PUT előkezelés önmagában nem okozott szignifikáns változást a gázcsereparaméterekben (1. táblázat). Kísérletünk során a PEG-kezelés sztómazáródást eredményezett, amely mindkét vizsgált vonal esetén a transzspiráció (E) csökkenését, valamint vad típusú növényekben a Pn csökkenését is eredményezte. A Pn értékek alapján a PUT-előkezelés nem enyhítette a PEG negatív hatását egyik genotípus esetében sem, a nettó fotoszintetikus hányados értékek hasonló tartományban voltak (1. táblázat). Ugyanakkor alacsonyabb sztómakonduktanciát (gs) és intracelluláris CO₂-koncentrációt (Ci) detektáltunk a PUT + PEG-vel kezelt vadvonalba a törpe mutánshoz képest.

Putreszcín-előkezelés és/vagy ozmotikus stressz hatása a lipidperoxidációra és a prolintartalomra az Rht és Rht 3 búzatörzsekben

A PEG-kezelés oxidatív stresszt váltott ki, különösen az Rht genotípus leveleiben és gyökereiben, mivel az MDA-tartalom statisztikailag szignifikáns növekedést mutatott (1A. ábra). Figyelemre méltó, hogy a PUT-előkezelés önmagában csökkentette az MDA-szintet az Rht 3 genotípus gyökerében. A PUT, illetve a PUT + PEG kezeléseket követően a törpe genotípus levelében nem történt szignifikáns változás, azonban alacsonyabb MDA-tartalmat mértünk a PUT + PEG-kezelt növények gyökereiben a csak PEG-kezelt növényekéhez képest.

Az MDA-tartalomhoz hasonlóan, a prolintartalom a PUT-előkezelés után nem változott egyik genotípus levelében és gyökérében sem, míg a PEG-kezelt

növényekben (akár önmagában PEG, akár PUT-előkezeléssel kombinálva) megemelkedett. Mind az *Rht*, mind az *Rht 3* törzsek leveleiben a PUT-és PEG-kezelés kombinációja indukálta a legnagyobb prolinfelhalmozódást (*1B. ábra*).

1. táblázat. A hét napos 0,5 mM putreszcinkezelés (PUT), az öt napos 15%-os PEG-kezelés és ezek kombinációjának hatása a gázcsere paraméterekre a vad típusú (*Rht*) és törpe (*Rht 3*) búzatörzsekre

	Kezelés (1)	P_n ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^2/\text{s}$)	C_i ($\mu\text{mol/mol}$)	gs ($\text{mmol H}_2\text{O m}^2/\text{s}$)	E
<i>Rht</i>	C	13,9±1,1 c	328,5±9,6 d	275±56,5 c	3,6±0,6 b
	PUT	12,9±1,2 bc	329±4,2 d	256,5±72 c	3,4±0,7 b
	PEG	12,3±0,7 b	261,3±7,2 b	129±12,6 b	2±0,2 a
	PUT+PEG	10,4±1,2 a	243,5±10,6 a	84,4±13,9 a	1,6±0,3 a
<i>Rht 3</i>	C	13,5±1,9 bc	329,2±12,4 d	268,8±19,2 c	3,6±0,2 b
	PUT	14,1±1,4 c	321,6±21,8 d	299,4±49,6 c	3,6±0,7 b
	PEG	11,6±1 ab	283,3±40 cd	126,4±37,7 b	1,9±0,6 a
	PUT+PEG	10,3±1,6 a	289,6±23,6 c	125,9±15,1 b	2,0±0,2 a

Megjegyzés: P_n : CO_2 asszimilációs ráta; C_i : intracelluláris CO_2 koncentráció; gs: sztóma konduktancia és E: transzspiráció. Az értékek átlagértékek $n=5$, $\pm\text{SD}$. A különböző betűk a szignifikáns eltéréseket jelzik $p\leq 0,05$ szignifikancia szinten.

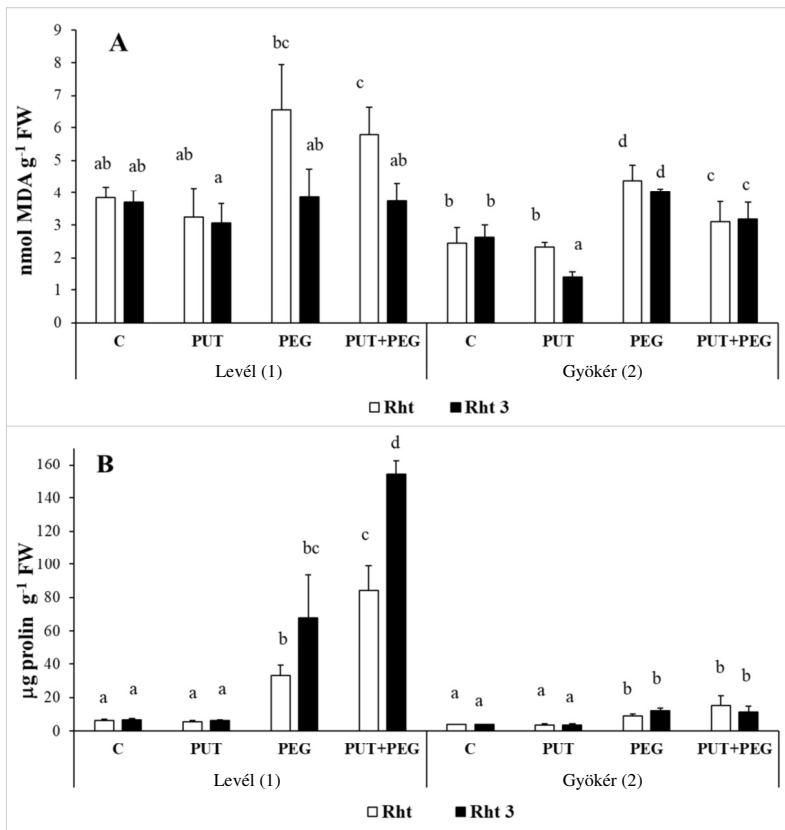
Table 1. Effects of 7-day 0.5 mM putrescine (PUT), 5-day of 15% PEG treatments or their combined treatment on gas exchange parameters in the wild type (*Rht*) and dwarf (*Rht 3*) wheat lines. (1) Treatment, Note: P_n : CO_2 assimilation rate; C_i : intracellular CO_2 concentration; gs: stomatal conductance and E: transpiration. Data represent mean values $n=5$, $\pm\text{SD}$. Different letters indicate significant differences at $p\leq 0.05$ level.

*Putreszcin-előkezelés és/vagy ozmotikus stressz hatása a poliamin-tartalomra az *Rht* és *Rht 3* búzavonalakban*

A levelek PUT előkezelése nem okozott jelentős változásokat az endogén PA-tartalomban, kivéve, hogy az *Rht 3* genotípusban kissé megemelkedett a PUT szintje (*2A. ábra*). Mindkét törzsből a PEG-kezelést követően a levelek PA-tartalmának legjellemzőbb változása a SPD-szint csökkenése volt, a DAP mennyiségének növekedésével párhuzamosan (utóbbi vegyület a SPD és SPM terminális oxidációja során keletkező katabolikus termék) (*2D. ábra*). A PEG-kezelés hatásához viszonyítva a kombinált PUT + PEG-kezelés a DAP intenzívebb fel-

halmozódását eredményezte a vad típusban, valamint mindkét vonalban a vártnak megfelelő módon megemelkedett a PUT mennyisége (2A. és 2D. ábra). Összehasonlítva a csak PEG-kezeléssel, a PUT-előkezelés PEG kezeléssel kombinálva nem okozott változást a SPD- és a SPM-tartalomban egyik genotípusban sem (2BC. ábra).

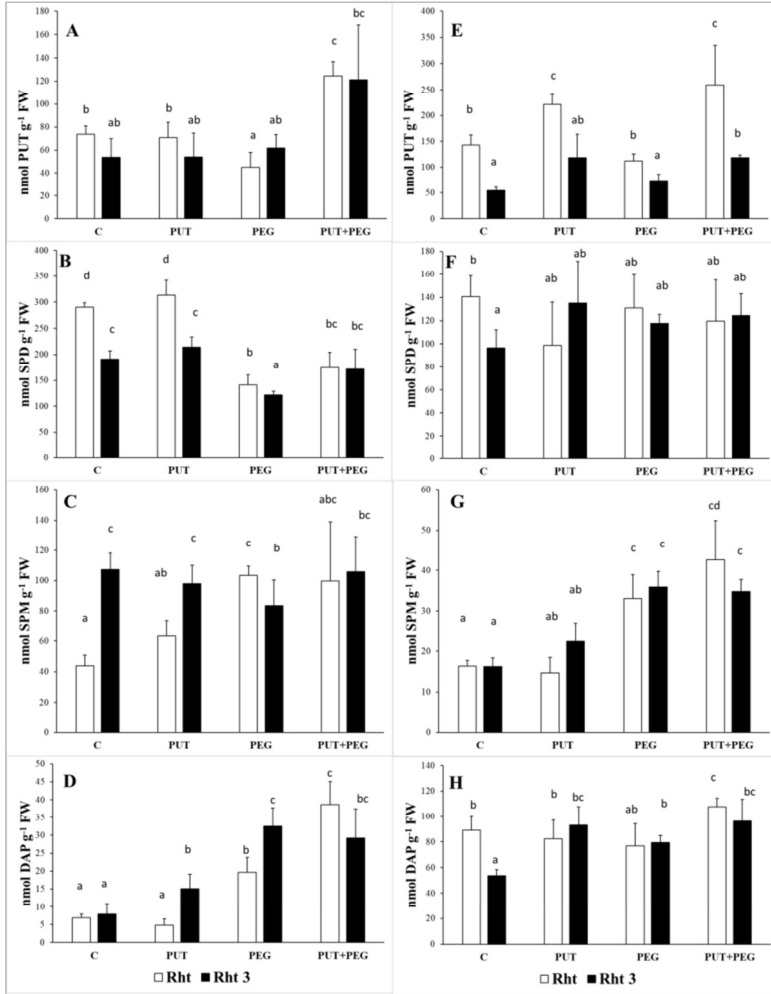
1. ábra. A hét napos 0,5 mM putreszcín kezelés (PUT), az öt napos 15%-os PEG-kezelés, és ezek kombinációjának hatása a vad típusú (Rht) és törpe (Rht 3) búzatörzsekre



Megjegyzés: A: lipidperoxidáció mértéke (MDA), B: prolintartalom. Az értékek átlagértékek $n=5$, \pm SD. A különböző betűk a szignifikáns eltéréseket jelzik $p \leq 0,05$ szignifikancia szinten.

Figure 1. Effect of 7-day 0.5 mM putrescine, 15% PEG treatments or their combined treatment. (1) Leaf, (2) Root, Note: on lipid peroxidation (MDA: A) and proline content (B) in the leaves and the roots of Rht wheat lines. Different letters indicate significant differences at $p \leq 0.05$ level.

2. ábra. A hét napos 0,5 mM putreszcín kezelés (PUT), az öt napos 15%-os PEG kezelés, és ezek kombinációjának hatása a vad típusú (*Rht*) és törpe (*Rht 3*) búzavonalak PA-szintjeire levélben (A-D) és gyökérben (E-H)



Megjegyzés: az értékek átlagértékek n=5, ±SD. A különböző betűk a szignifikáns eltéréseket jelzik p≤0,05 szignifikancia szinten.

Figure 2. Effect of 7-day 0.5 mM putrescine, 15% PEG treatments or their combined treatment on the PA contents (A, E: putrescine, PUT; B, F: spermidine, SPD; C, G: spermine, SPM; D, H: 1,3-diaminopropane, DAP) in the leaves (A-D) and roots (E-H) of *Rht* wheat lines. White bars: wild type *Rht* lines, black bars: *Rht3* dwarf lines. Note: different letters indicate significant differences at p≤0.05 level.

A gyökerekben a PUT mennyisége a PUT- és PUT + PEG-kezelések után a vad típusban, míg a PUT + PEG-kezelést követően az Rht 3 genotípusban emelkedett meg szignifikánsan (2E. ábra). Azonban a mutáns genotípusban a PUT szintje még így is jóval alacsonyabb maradt, mint a vad típusban. Az SPD-szintet egyik kezelés sem befolyásolta (2F. ábra), míg az SPM-tartalom mindkét genotípus esetén a PEG-, illetve a PUT + PEG-kezelés után megemelkedett (2G. ábra). A gyökerekben a PUT + PEG-kezelés additív hatásaként a DAP-tartalom kissé megemelkedett mindkét vizsgált törzsből (2H. ábra). Emellett, a PEG-kezelés nagyobb hatást gyakorolt a gyökér SPM szintjére, önmagában és a PUT-nel kombinálva is, szemben a PUT előkezeléssel.

Következtetések

Korábbi vizsgálataink szerint a hét napig tartó PUT-előkezelés, 0,5 mM koncentrációban védelmet nyújtott a 15% PEG-indukálta ozmotikus stresszel szemben búza- és a kukoricánövényekben. A pozitív hatás mértéke növényfajfüggő volt, mivel a búzában az intenzívebb PA-metabolizmus miatt nagyobb védőhatást tudott kifejteni (Szalai *et al.* 2017). Azt is megállapítottuk, hogy stresszmentes körülmények között a PUT-kezelés ugyanazon kezelési körülmények között pozitív hatással volt az *Rht* és Rht 3 genotípusok biomassza mutatóira (Pál *et al.* 2019). Jelen tanulmány célja az általánunk korábban tesztelt PUT-előkezelés hatásainak tisztázása volt a törpe (Rht 3) búzatörzs ozmotikus stressz során indukált válaszreakcióira, összehasonlítva a vad típusúval (*Rht*), különös tekintettel a két *Rht* törzs PA tartalmában megfigyelhető különbségekre.

Koncheva *et al.* (2014ab), valamint Nenova *et al.* (2014) kimutatták, hogy az Rht 3 törpe törzs toleránsabb a szárazsággal szemben, mint a vad típusú *Rht* vonal. A nagyobb fokú tolerancia hátterében a nagyobb mértékű ozmoprotektáns felhalmozó és antioxidáns enzim indukáló képessége állhatott. Ezzel összhangban kísérletünkben, bár a nettó fotoszintézisben nem tapasztalunk különbségeket, az Rht 3 növények leveleiben a PEG-kezelés után alacsonyabb MDA-szintet detektáltunk, alátámasztva annak jobb ozmotikus stressztűrő képességét a vad típusúhoz képest. Ezen kívül, az ozmoprotektáns szereppel rendelkező prolin felhalmozódása a levelekben ozmotikus stressz során az Rht 3 vonalban nagyobb volt, akár PUT-előkezeléssel, akár a nélkül.

A PUT-előkezelés önmagában egyik genotípusban sem befolyásolta a fotoszintézis paramétereit és az MDA- vagy a prolintartalmakat. A gyökérben mért kisebb MDA-tartalom és a levélben tapasztalt nagyobb mértékű prolin-felhalmozódás ellenére az eredmények azt is kimutatták, hogy a PUT-előkezelés az alkalmazott kezelési körülmények között nem képes enyhíteni a PEG-indukálta ozmotikus stressz negatív hatásait a fotoszintézis folyamatára. A növények egyik korai szárazság-/ozmotikus stresszre adott reakciója a sztómák bezárása, ami az asszimilációs ráta (P_n) csökkenéséhez vezethet. Kísérletünkben a PUT-előkezelés ozmotikus stressz során további negatív hatással volt a vad típusban (*Rht*) mért P_n -paraméterekre, összehasonlítva a csak PEG-kezelt növényekben tapasztaltakkal. Annak ellenére, hogy a két törzs hasonló nettó fotoszintézis értéket mutatott, a PUT + PEG-kezelt törpe növényekben nagyobb g_s és C_i paramétereket mértünk. Ennek hátterében valószínűleg az anyagcsere átprogramozása áll, mely megkönnyíti az *Rht 3* stressztűrő képességének kialakulását (Yuan et al. 2018). Ezzel párhuzamosan a legmagasabb prolinszintet a PUT + PEG-kezelt törpe búzanövények leveleiben mértük. Mindezek arra utalnak, hogy a PUT-előkezelés fokozta a növények alkalmazkodóképességét ozmotikus stressz körülmények között, ami a gyökérben alacsonyabb lipidperoxidációs szintben is megmutatkozott az *Rht 3* növények esetében, de ez a védőhatás nem jelentkezett a fotoszintetikus aktivitásban. Jelen eredményekhez hasonlóan magasabb prolintartalom volt kimutatható a PUT + PEG-kezelt búzanövények leveleiben és gyökereiben, továbbá a kukoricánövények gyökereiben a csak PEG-kezelt növényekhez képest (Szalai et al. 2017). Ezen jelenség azt sugallja, hogy a megemelkedett prolinszint szerepet játszik a PUT-indukált ozmotikus toleranciában. Figyelemre méltó, hogy a prolin felhalmozódásának szintje a két törzs leveleiben különbözött, de mindkét genotípuson belül a legnagyobb értéket ott tapasztaltuk, ahol a legnagyobb PUT-felhalmozódást mértük, nevezetesen a PUT + PEG kombinált kezelés esetében. A prolin levélben történő felhalmozódása azonban fordított mintázatot mutatott a PEG- vagy PUT + PEG-kezelt növények gyökér PUT szintjével. Ez összhangban áll egy korábbi eredményünkkel, ahol arra a következtetésre juttotunk, hogy közös előanyaguk (glutamát) ellenére a prolintermelés a PA képződéstől függetlenül zajlik (Pál et al. 2018).

Az irodalmi adatok ellentmondásosak arra vonatkozólag, hogy mennyire szoros, illetve közvetlen kapcsolat áll fenn a megnövekedett PA-tartalom és az abiotikus stressztűrés mértéke között. A sőtűrés pozitív kapcsolatban volt az

SPD-szinttel, de negatívan korrelált az SPM-szintekkel (Do *et al.* 2014). Rizsfajták vizsgálata során azt állapították meg, hogy szárazságstressz során jelentősen csökkent a PUT-tartalom, így a SPM vált a domináns PA-ná az összes vizsgált fajtánál, míg a PA-tartalom és a rizsben tapasztalt szárazságtűrés között nem volt összefüggés (Do *et al.* 2013). Egy másik vizsgálatban, eltérő rizs genotípusokkal, nem találtunk összefüggést sem a kontroll szint, sem a stressz által kiváltott PA-felhalmozódás és a szárazságtűrés között (Pál *et al.* 2014). A stressz kezdeti szakaszában a PUT, SPD és SPM felhalmozódása nagyobb volt a szárazságra érzékeny természetű csicsereborsóban, mint a toleráns vadfajban (Nayyar és Chander 2004). Búzában azt találták, hogy az SPD és az SPM segíti elő az ozmotikus stressztűrést (Liu *et al.* 2004). Az általunk alkalmazott kísérleti körülmények között a DAP szintje különösen a levelekben emelkedett meg mind a PEG, mind a PUT + PEG kezelés után. A levélben tapasztalt változások, nevezetesen, hogy a PUT-szint nem változott, a SPD-tartalom csökkent, míg a SPM mennyisége megemelkedett, annak a következménye lehet, hogy ozmotikus stressz körülmények között, a PUT és a SPD a SPM szintézisére használódott fel. Ugyanakkor, a szintetizálódott SPM katabolizmusa eredményezhette a DAP felhalmozódását. Hasonló eredményeket kaptak a kiszáradástűrő *Craterostigma plantagineum* növényben, ahol a PUT-tól a SPM-felé irányuló szintézisút indukációját mutatták ki (Alcázar *et al.* 2011). Az eredmények azt mutatják, hogy gyökérben a PUT nagyobb hatással van a vad típusú PUT-tartalomra, akár önmagában, akár PEG-gel kombinálva, mint önmagában az ozmotikus stressz. Ennek ellenére a PUT szintjének túlzott, feleslegben történő felhalmozódása oxidatív stresszt is indukálhat a növényekben (Szalai *et al.* 2017). Ez annak köszönhető, hogy a PA-ok metabolizmusa, mind a katabolizmus, mind pedig a vissza-átalakítás során H_2O_2 felhalmozódásához vezet (Moschou *et al.* 2008ab). Ily módon a PA-tartalomban bekövetkezett változások felelősek lehetnek a PUT-előkezelés részben negatív hatásaiért a vad típusban stresszkörülmények között. Ezt megerősítette az általunk tapasztalt intenzívebb sztómazáródás is. Figyelemre méltó különbség a PA-tartalomban, hogy az Rht 3 genotípusban a PEG- vagy a kombinált PUT + PEG-kezelés után a PUT / (SPD + SPM) aránya alacsonyabb volt a mutánsban a vad típushoz viszonyítva, mivel eleve kisebb PUT-tartalom volt jellemző a törpe mutáns gyökerére. Eredményeinkkel összhangban az árpa vad és félig törpe genotípusainak összehasonlítása azt mutatta, hogy a vad genotípust magasabb PUT-tartalom jellemzi, mint a félig törpe vonalat. Gibberellinsav-kezelés után a PUT-akkumuláció ugyancsak

nagyobb mértékűnek bizonyult a vad típusban. Ezen kívül, alacsonyabb DAO enzim aktivitást is találtak a vad típusban (Asthir et al. 2004). A gibberellinsavval történő kezelés szintén növelte a PUT-tartalmat árpában az ODC indukciója révén (Kyriakidis 2006). A kísérletünkben a DAP-tartalom már a PUT-előkezelés után megemelkedett a giberellinsavra érzéketlen, törpe Rht 3 genotípus leveleiben és gyökereiben, ami arra enged következtetni, hogy a PUT-előkezelés aktiválhatta a törpe genotípusban a PA-metabolizmust.

Eredményeinket összegezve megállapíthatjuk, hogy a törpe és a vad típusú genotípusok bizonyos élettani paraméterei meglehetősen hasonlóak voltak stresszmentes körülmények között (gázcsere-paraméterek, prolintartalom). A PA-tartalomban azonban kifejezett eltérések voltak megfigyelhetőek. A törpe növésű mutáns a gyökérben kisebb PUT- és SPD-tartalommal, a levélben pedig nagyobb SPM-szinttel volt jellemezhető, mint a vad genotípus. Annak ellenére, hogy a törpe mutáns toleránsabb volt az ozmotikus stresszel szemben, és a kezdeti PA-koncentráció, valamint a PUT / (SPD + SPM) aránya eltérő volt a vad típushoz képest, az ozmotikus stressz hasonló változásokat váltott ki a prolin- és a PA-tartalomban mindkét genotípusban.

Eredményeink megerősítették, hogy az Rht 3 törzs toleránsabb az ozmotikus stresszel szemben a vad típusú *Rht* vonalhoz viszonyítva, ami kapcsolatban van a nagyobb mértékű prolinfelhalmozó képességével. Megjegyzendő, hogy a PUT-előkezelés módosítja a PEG-indukált ozmotikus stresszválaszokat a prolin- és a PA-tartalomra vonatkozóan, de a várakozásokkal ellentétben csak az Rht 3-ban volt enyhe pozitív hatása. Tehát a külső kezelés hatására megemelkedett PA-szint, és így az aktivált PA-metabolizmus előnyösebb lehet a törpe genotípus esetében. Más szóval, a PA-tartalom finom egyensúlyának szabályozása felelős lehet a PA-ok kedvező és kedvezőtlen hatásai közötti átváltásért, amely az *Rht* törzsekben tapasztalt különbségeket is megmagyarázhatja.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Hivatal által támogatott K124472 pályázat keretében készült.

Irodalom

- Alcázar, R.–Bitrián, M.–Bartels, D.–Koncz, C.–Altabella, T.–Tiburcio, A. F.: 2011. Polyamine metabolic canalization in response to drought stress in *Arabidopsis* and the resurrection plant *Craterostigma plantagineum*. *Plant Signal. Behav.* 6: 243–250.
- Alcázar, R.–Altabella, T.–Marco, F.–Bortolotti, C.–Reymond, M.–Koncz, C.–Carrasco, P.–Tiburcio, A. F.: 2010. Polyamines: Molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta.* 231: 1237–1249.
- Asthir, B.–Spor, W.–Duffus, C. M.: 2004. Involvement of polyamines, diamine oxidase and polyamine oxidase in resistance of barley to *Blumeria graminis* f. sp. *hordei*. *Euphytica.* 136: 307–312.
- Bates, L. S.–Waldren, R. P.–Teare, I. D.: 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. *Plant Soil.* 39: 205–207.
- Do, P. T.–Degenkolbe, T.–Erban, A.–Heyer, A. G.–Kopka, J.–Köhl, K. I.–Hincha, D. K.–Zuther, E.: 2013. Dissecting rice polyamine metabolism under controlled long-term drought stress. *PLoS One.* 8: e60325.
- Do, P. T.–Drechsel, O.–Heyer, A. G.–Hincha, D. K.–Zuther, E.: 2014. Changes in free polyamine levels, expression of polyamine biosynthesis genes, and performance of rice cultivars under salt stress: a comparison with responses to drought. *Front. Plant Sci.* 5: 182.
- Dobrikova, A. G.–Yotsova, E. K.–Börner, A.–Landjeva, S. P.–Apostolova, E. L.: 2017. The wheat mutant DELLA-encoding gene (*Rht-B1c*) affects plant photosynthetic responses to cadmium stress. *Plant Physiol. Biochem.* 114: 10–18.
- Flintham, J. E.–Borner, A.–Worland, A. J.–Gale, M. D.: 1997. Optimizing wheat grain yield: effects of *Rht* (gibberellin-insensitive) dwarfing genes. *J. Agric. Sci.* 128: 11–25.
- Kakkar, R. K.–Sawhney, V. K.: 2003. Polyamine research in plants – a changing perspective. *Physiol. Plant.* 116: 281–292.
- Kocheva, K.–Nenova, V.–Karceva, T.–Petrov, P.–Georgiev, G. I.–Börner, A.–Landjeva, S.: 2014a. Changes in water status, membrane stability and antioxidant capacity of wheat seedlings carrying different *Rht-B1* dwarfing alleles under drought stress. *J. Agron. Crop Sci.* 200: 83–91.
- Kocheva, K. V.–Landjeva, S. P.–Georgiev, G. I.: 2014b. Variation in ion leakage parameters of two wheat genotypes with different *Rht-B1* alleles in response to drought. *J. Biosci.* 39: 753–759.
- Kusano, T.–Berberich, T.–Tateda, C.–Takahashi, Y.: 2008. Polyamines: essential factors for growth and survival. *Planta.* 228: 367–381.
- Kuznetsov, V. V.–Shevyakova, N. I.: 2007. Polyamines and stress tolerance of plants. *Plant Stress.* 1: 50–71.

- Kyriakidis, D.: 2006. Effect of plant growth hormones and polyamines on ornithine decarboxylase activity during the germination of barley seeds. *Physiol. Plant.* 57: 499–504.
- Li, Y.-Xiao, J.-Wu, J.-Duan, J.-Liu, Y.-Ye, X.-Zhang, X.-Guo, X.-Gu, Y.-Zhang, L.-Jia, J.-Kong, X.: 2012. A tandem segmental duplication (TSD) in green revolution gene *Rht-D1b* region underlies plant height variation. *New Phytol.* 196: 282–291.
- Liu, T.-Kim, D. W.-Niitsu, M.-Berberich, T.-Kusano, T.: 2014. *Oryza sativa* polyamine oxidase 1 back-converts tetraamines, spermine and thermospermine, to spermidine. *Plant Cell Rep.* 33: 143–151.
- Moschou, P. N.-Paschalidis, K. A.-Delis, I. D.-Andriopoulou, A. H.-Lagiotis, G. D.-Roubelakis-Angelakis, K. A.: 2008a. Salinity-induces exodus of spermidine into the apoplast which is catabolized by Polyamine Oxidase and the size of H₂O₂ signature depicts tolerance responses. *Plant Cell.* 20: 1708–1724.
- Moschou, P. N.-Rojo, E.-Sanmartin, M.-Roubelakis-Angelakis, K. A.-Andriopoulou, A. H.-Sanchez-Serrano, J. J.: 2008b. Bridging the gap between plant and mammalian polyamine catabolism: a novel peroxisomal polyamine oxidase responsible for a full back-conversion pathway in *Arabidopsis*. *Plant Physiol.* 147: 1845–1857.
- Nayyar, H.-Chander, S.: 2004. Protective effects of polyamines against oxidative stress induced by water and cold stress in chickpea. *J. Agron. Crop. Sci.* 190: 355–365.
- Németh, M.-Janda, T.-Horváth, E.-Páldi, E.-Szalai, G.: 2002. Exogenous salicylic acid increases polyamine content but may decrease drought tolerance in maize. *Plant Sci.* 162: 569–574.
- Nenova, V. R.-Kocheva, K. V.-Petrov, P. I.-Georgiev, G. I.-Karceva, T. V.-Börner, A.-Landjeva, S. P.: 2014. Wheat *Rht-B1* dwarfs exhibit better photosynthetic response to water deficit at seedling stage compared to the wild type. *J. Agron. Crop Sci.* 200: 434–443.
- Pál, M.-Horváth, E.-Janda, T.-Páldi, E.-Szalai, G.: 2005. Cadmium stimulates the accumulation of salicylic acid and its putative precursors in maize (*Zea mays*) plants. *Physiol. Plant.* 125: 356–364.
- Pál, M.-Ivanovska, B.-Oláh, T.-Tajti, J.-Hamow, K. Á.-Szalai, G.-Khalil, R.-Vanková, R.-Dobrev, P.-Misheva, S. P.-Janda, T.: 2019. Role of polyamines in plant growth regulation of *Rht* wheat mutants. *Plant Physiol. Biochem.* 137: 189–202.
- Pál, M.-Kovács, V.-Szalai, G.-Soós, V.-Ma, X.-Liu, H.-Mei, H.-Janda, T.: 2014. Salicylic acid and abiotic stress responses in rice. *J. Agron. Crop Sci.* 200: 1–11.
- Pál M.-Szalai G.-Janda T.: 2015. Speculation: Polyamines are important in abiotic stress signaling. *Plant Sci.* 237: 16–23.
- Pál, M.-Tajti, J.-Szalai, G.-Peeva, V.-Végh, B.-Janda, T.: 2018. Interaction of polyamines, abscisic acid and proline under osmotic stress in the leaves of wheat plants. *Sci. Rep.* 8: 12839.
- Szalai, G.-Janda, K.-Darkó, É.-Janda, T.-Peeva, V.-Pál, M.: 2017. Comparative analysis of polyamine metabolism in wheat and maize plants. *Plant Physiol. Biochem.* 112: 239–250.

- Thomas, J. C.–Perron, M.–Davies, E. C.: 2004. Genetic responsiveness to copper in the Ice Plant, *Mesembryanthemum crystallinum*. *Plant Sci.* 167: 259–266.
- Van De Velde, K.–Chandler, P. M.–Van Der Straeten, D.–Rohde, A.: 2017. Differential coupling of gibberellin responses by *Rht-B1c* suppressor alleles and *Rht-B1b* in wheat highlights a unique role for the *DELLA* N-terminus in dormancy. *J. Exp. Bot.* 68: 443–455.
- Wu, J.–Kong, X.–Wan, J.–Liu, X.–Zhang, X.–Guo, X.–Zhou, R.–Zhao, G.–Jing, R.–Fu, X.–Jia, J.: 2011. Dominant and pleiotropic effects of a *GAI* gene in wheat results from a lack of interaction between *DELLA* and *GID1*. *Plant Physiol.* 157: 2120–2130.
- Yuan, H.–Zeng, X.–Shi, J.–Xu, Q.–Wang, Y.–Jabu, D.–Sang, Z.–Nyima, T.: 2018. Time-course comparative metabolite profiling under osmotic stress in tolerant and sensitive tibetan Hulless barley. *BioMed Research International*. 2018. Article ID: 9415409.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Pál Magda – Dr. Beti Ivanovska – Dr. Darkó Éva – Dr. Janda Tibor – Dr. Majláth Imre
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet
Növényélettani Osztály
Martonvásár
Brunszvik u. 2.
H-2462
*pal.magda@agrar.mta.hu

Dr. Svetlana P. Misheva
Bulgarian Academy of Sciences
Institute of Plant Physiology and Genetics
Department of Plant Ecophysiology
Sofia
1113 Bulgaria

Dr. Nesma Elsayed – Dr. Radwan Khalil
Benha University
Faculty of Science
Botany Department
Benha
13518 Egypt

Trágyázás és öntözés hatása a szója (*Glycine max* L.) genotípusok termésére és vízhasznosítására eltérő évjáratokban

PEPÓ PÉTER – ÁBRAHÁM ÉVA BABETT
Debreceni Egyetem MÉK,
Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Tartamkísérletünkben csernozjom talajon három éven át (2017., 2018., 2019. évek) vizsgáltuk két szója genotípus (Boglár, Pannónia kincse) trágyázási és öntözési reakcióját. A kísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy az eltérő évjáratok ellenére mindhárom évben azonos maximális terméseket (2017-ben 5,4 t/ha, 2018-ban 5,3 t/ha, 2019-ben 5,2 t/ha) kaptunk. A műtrágyázás hatására a szója fajták mérsékelt terméstöbbletet adtak (Boglár 0–633 kg/ha, Pannónia kincse 298–967 kg/ha). A vizsgált szója fajták öntözési terméstöbblete a féladagú öntözésben 0–1024 kg/ha, a teljes adagú öntözésben 62–1720 kg/ha (2017. év), illetve 0–1107 kg/ha és 0–813 kg/ha (2018. év) volt. A közel optimális vízellátású 2019. évben az öntözés terméstöbblete mérsékelt (0–512 kg/ha, illetve 0–406 kg/ha) maradt. A szója fajlagos vízhasznosítását az évjárat, a fajta, a műtrágyázás nem befolyásolta. Az öntözés hatására romlottak a WUE értékek, ami a szója pazarló vízfelhasználását bizonyította kedvező vízellátottsági feltételek mellett (száraz kezelésben 11,8–16,8 kg/mm, öntözött kezelésben 9,1–16,1 kg/mm WUE értékek a vizsgált évjáratokban).

Kulcsszavak: szója, trágyázás, öntözés, WUE

The effect of fertilisation and irrigation on the yield and water utilisation of soybean (*Glycine max* L.) genotypes in different crop years

P. PEPÓ - É. B. ÁBRAHÁM

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

Summary

In our long-term experiment, we examined the fertilisation and irrigation reactions of two soybean genotypes (Boglár, Pannónia kincse) on chernozem soil for three years (2017, 2018, 2019). Our experimental results showed that, despite the different crop years, the same maximum yields were obtained in all three years (5.4 t ha⁻¹ in 2017, 5.3 t ha⁻¹ in 2018, 5.2 t ha⁻¹ in 2019). As a result of fertilisation, the soybean cultivars provided a moderate yield surplus (Boglár 0–633 kg ha⁻¹, Pannonia treasure 298–967 kg ha⁻¹). The irrigation yield surplus of the examined soybean cultivars was 0–1024 kg ha⁻¹ in the case of half-dose irrigation and 62–1720 kg ha⁻¹ in the case of full-dose irrigation in 2017, while the respective values were 0–1107 kg ha⁻¹ and 0–813 kg ha⁻¹ for 2018. In 2019, with a near-optimal water supply, the yield surplus of irrigation remained moderate (0–512 kg ha⁻¹ and 0–406 kg ha⁻¹, respectively). The specific WUE of soybean was not affected by crop year, the cultivar or fertilisation. As a result of irrigation, WUE values deteriorated, which showed the wasteful water consumption of soybeans under favorable water supply conditions (WUE was 11.8–16.8 kg mm⁻¹ in dry treatment and 9.1–16.1 kg mm⁻¹ in irrigated treatment in the examined crop years).

Key words: soybean, fertilisation, irrigation, WUE

Влияние внесения удобрения и орошения на урожай и водопользование генотипов сои (*Glycine max* L.) в различные годы выращивания

П. ПЕПО – Е. Б. АБРАХАМ
Дебреценский Университет МЭК,
Институт Ботаники, Дебрецен

Резюме

В нашем продолжительном опыте на чернозёмной почве в течении трёх лет (2017, 2018, 2019 годы) исследовали реакцию двух генотипов сои («Boglár», «Pannónia kincse») на внесение удобрений и орошение. Результаты нашего исследования доказали, что несмотря на различные годы выращивания во всех трёх годах получили похожий максимальный урожай (в 2017 году 5,4 t/ha, в 2018 году 5,3 t/ha, в 2019 году 5,2 t/ha). Под влиянием искусственного удобрения сорта сои дали умеренную прибавку урожая («Boglár» 0–633 kg/ha, «Pannónia kincse» 298–967 kg/ha). Прибавки урожая в результате орошения исследованных сортов сои были в половине дозе орошения 0–1024 kg/ha, а в полной дозе орошения 62–1720 kg/ha (2017 год), и 0–1107 kg/ha 0–813 kg/ha (2018 год). В почти оптимально обеспеченном водой 2019 году прибавка урожая в результате орошения осталась умеренной (0–512 kg/ha, и 0–406 kg/ha). Год выращивания, сорт, искусственное удобрение не повлияли на удельное водопользование сои. Под влиянием орошения ухудшились показатели WUE, что доказало расточительное водоиспользование соей в благоприятных условиях водообеспечения (в сухой обработке 11,8–16,8 kg/mm, в орошаемой обработке 9,1–16,1 kg/mm величины WUE в исследованных годах выращивания).

Ключевые слова: соя, внесение удобрений, орошение, WUE

Bevezetés

A szója a világon a legnagyobb területen termesztett maghüvelyes növényünk. Vetésterülete napjainkban meghaladta a 125 millió hektárt (FAO 2018). Valamennyi kontinensen termesztik ugyan, mégis az amerikai (USA, Brazília stb.)

és ázsiai országok (Kína, India stb.) a legnagyobb termesztői. Magyarországon a szója vetésterülete az elmúlt évtizedekben rendkívül jelentős módon ingadozott. A különböző támogatások hatására nőtt a vetésterülete, így az 1980-as években megközelítette a 100 ezer hektárt. Napjainkban – a zöldítés keretében kapott támogatások hatására – kismértékű növekedés tapasztalható a szója vetésterületében (63 ezer ha, FAO 2018). Sajnos a termésátlagok csak kis mértékben emelkedtek (2828 kg/ha, FAO 2018), aminek egyik oka az agrotechnikában elkövetett hibák, míg a másik ok a klímaváltozásban keresendő. A szója kifejezetten érzékeny az időjárási hatásokra, elsősorban a tenyészidőszak különböző fenofázisaiban bekövetkező szárazságra (Van Heerden és Krüger 2000, Silveira et al. 2003, Talebi et al. 2013). A szója különböző mértékű termésnövekedéssel reagál a vegetációs periódusban bekövetkező száraz periódusokra (Turner et al. 1978, Liu et al. 2003, Yan et al. 2013, Vurukonda et al. 2016, Wei et al. 2018). A termés redukciót részben a virágok, részben a hüvelyek számának csökkenése okozza (Desclaux és Roumet 1996, Lozovaya et al. 2005). A szója szárazság toleranciáját a genotípus is befolyásolta Desclaux és Roumet (1996), valamint Bhatia és Jumrani (2016) kísérleti eredményei szerint. Kurnik (1976), valamint Balikó et al. (2005) vizsgálatai szerint a szója a szárazságra a virágzás-hüvelykötés és a magfejlődés időszakában a legérzékenyebb. A kedvezőtlen időjárási hatásokat, a szárazságot a leghatékonyabban a megfelelően végrehajtott öntözéssel tudjuk mérsékelni, melynek termést befolyásoló hatása az évjáratától és a genotípustól egyaránt függött (Bellaloui és Mengistu 2008). Más szántóföldi növényekkel ellentétben a hüvelyes növények, így a szója trágyázása eltérő hatású lehet a termésére. Fageria és Baligar (2005) kísérletei szerint a szója a nagy termések eléréséhez kifejezetten nagy nitrogén mennyiséget igényel. Ugyanakkor Wani et al. (1995) azt állapította meg, hogy a szója relatíve kisebb N-mennyiségeket igényelt. A nitrogén visszapótlásnak különösen nagy jelentősége volt stressz (szárazság) körülmények között (Caliskan et al. 2008). Kurnik (1976) és Balikó et al. (2005) egyaránt azt állapították meg, hogy a túlzott nitrogén visszapótlás erőteljes vegetatív fejlődést, virág- és hüvelylrűgást, ennek következtében kisebb termést eredményezett.

A tartamkísérletünkben arra kerestük a választ, hogy eltérő évjárat típusokban a különböző szója genotípusok hogyan reagálnak a műtrágyázásra (elsősorban a nitrogéntrágyázásra) és a különböző öntözési rendre, illetve ezek a tényezők befolyásolják-e a szója fajták fajlagos vízhasznosítását (WUE).

Anyag és módszer

A tartamkísérletet 1983. évben állítottuk be mészlepedékes csernozjom talajon. A kísérlet Hajdúságban található, Debrecentől 15 km-re nyugatra (É.sz. 47°33', K.h. 21°27'). A kísérlet talaja kedvező tulajdonságokkal jellemezhető. A talaj humusztartalma 2,6–2,8%, a pH_{KCl} értéke 6,36–6,53, a kötöttsége pedig $K_A=40-42$, azaz vályog. A humuszos réteg vastagsága 80–100 cm. A talaj AL-oldható P_2O_5 tartalma közepes (133 mg/kg), az AL-oldható K_2O tartalma pedig jó (240 mg/kg). A talaj fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait az 1. táblázat, a jellemző vízgazdálkodási paramétereit pedig a 2. táblázat tartalmazza. A növények vízellátása szempontjából mértékadó talajszelvényben (0–200 cm) a kísérlet csernozjom talaja 650–750 mm vizet képes megtartani, melynek 65%-a a diszponibilis víz.

1. táblázat. A kísérleti terület talajvizsgálatai adatai (Debrecen)

Talajréteg (cm) (1)	pH_{KCl}	K_A (2)	$CaCO_3$ (%)	Humusz (%) (3)	Össz. N (%) (4)	NO_3+NO_2 (ppm)		
0–25	6,46	43,0	0	2,76	0,150	6,20		
25–50	6,36	44,6	0	2,16	0,120	1,74		
50–75	6,58	47,6	0	1,52	0,086	0,60		
75–100	7,27	46,6	10,25	0,90	0,083	1,92		
100–130	7,36	45,4	12,75	0,59	0,078	1,78		
Talajréteg (cm) (1)	P_2O_5 AL oldható (5) (ppm)	K_2O (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	SO_4 (ppm)
0–25	133,4	239,8	332,4	38,0	2,80	5,86	438	9,25
25–50	48,0	173,6	405,4	66,2	0,80	4,54	406	9,13
50–75	40,4	123,0	366,6	55,4	0,58	3,64	339	10,80
75–100	39,8	93,6	249,0	67,8	0,48	2,24	74	7,95
100–130	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's plasticity index, (3) Humus (%), (4) Total N (%), (5) AL-soluble

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

Talajréteg (cm) (1)	Térfogat-tömeg Tt (dm ³) (2)	Pórus térfogat (P%) (3)	Gravitációs pórustér + levegőzárvány (Pg+I%) (4)
5-25	1,433	45,93	11,53
27-33	1,410	46,73	7,05
47-53	1,275	51,90	12,50
97-103	1,285	51,55	8,73
122-128	1,268	52,20	7,23
147-153	1,268	52,13	6,68
197-203	1,230	53,70	6,30

Talajréteg (cm) (1)	Minimális vízkapacitás (VK _{min} %) (5)	Holtvíz-tartalom (HV%) (6)	hy
5-25	33,65	15,55	2,715
27-33	37,75	15,70	2,783
47-53	36,87	14,75	2,755
97-103	40,93	11,13	2,168
122-128	43,10	9,38	1,853
147-153	43,95	9,03	1,778
197-203	46,00	8,50	1,690

Table 2. Indicators of water management in the soil of the experimental area (Debrecen). (1) Soil layer (cm), (2) Bulk density (dm³), (3) Pore volume (P%), (4) Gravitational pore space + air pockets (Pg+I%), (5) Minimum water capacity (VK_{min}%), (6) Wilting point (HV%)

A tartamkísérlet trikulturá vetésváltási rendszerében szerepel a szója modellnövény (szója-búza-kukorica). A kísérletben a következő tényezőket vizsgáltuk:

évjárat:

- 2017. év,
- 2018. év,
- 2019. év;

műtrágya adagok:

- a kontroll (műtrágya nélkül) kezelés mellett az alapdózis (N=35, P₂O₅=30, K₂O=20 kg/ha) kétszeres, háromszoros és négyszeres mennyiségét alkalmaztuk. A foszfor és kálium 100%-át, a nitrogén 50%-át összel, a nitrogén másik 50%-át tavasszal juttattuk ki a parcellákra;

vízellátás:

- a tartamkísérletben három vízellátási változatot alkalmaztunk:
 - száraz = öntözés nélkül,
 - féladagú öntözés = az optimális vízellátottsághoz képest 50% öntözővíz kiegészítés,
 - teljes adagú öntözés = az optimális vízellátottsághoz képest 100% öntözővíz kiegészítés;
- az öntözés időpontjai és öntözővíz normái a következők voltak:

	Száraz	Fél öntözés	Teljes öntözés
2017	-	25 mm (07. 08–10.)	50 mm (07. 08–10.)
		25 mm (07. 22–23.)	50 mm (07. 22–23.)
2018	-	20 mm (04. 26.)	40 mm (04. 26.)
		25 mm (06. 25.)	50 mm (06. 25.)
		25 mm (07. 09.)	50 mm (07. 09.)
2019	-	25 mm (07. 01–03.)	50 mm (07. 01–03.)
		25 mm (07. 18–20.)	50 mm (07. 18–20.)

genotípus:

- Boglár - korai érésű fajta,
- Pannónia kincse - középérésű fajta.

A tartamkísérletben alkalmazott további agrotechnika (talajművelés, vetés, növényvédelem, betakarítás) megfelelt a korszerű szója termesztés követelményeinek.

A tartamkísérletek évjáratának fontosabb meteorológiai adatait a 3–4. táblázat tartalmazza. Az egyes évjáratok időjárása jelentősen eltért egymástól, amely nagymértékben befolyásolta a szója vegetatív és generatív fejlődését, termésképződési folyamatait. A szója tenyészidejét megelőző időszak (október-március) csapadék mennyisége különösen fontos, mert ez jelentősen befolyásolta a csernozjom talaj induló vízkészletét (3. táblázat).

3. táblázat. A vizsgálati évek tenyészidőszak előtti csapadéka (mm) (Debrecen)

Tenyészév (1)	Okt. (2)	Nov. (3)	Dec. (4)	Jan. (5)	Febr. (6)	Márc. (7)	Vegetáció előtti csapadék összesen (8)
2016/2017	92,1	55,5	4,0	27,5	31,4	24,5	235,0
2017/2018	43,9	53,7	93,6	28,2	57,9	68,5	345,8
2018/2019	10,1	52,0	50,9	36,1	6,7	9,4	165,2
30 éves átlag (1981–2010) (9)	37,9	41,6	43,7	29,7	31,0	30,2	214,1

Table 3. Precipitation before the growing season in the examined years (mm) (Debrecen). (1) Year, (2) October, (3) November, (4) December, (5) January, (6) February, (7) March, (8) Total amount of precipitation before the vegetation period, (9) 30-year average (1981–2010)

4. táblázat. A szója vegetációs periódusának csapadéka (mm) és hőmérséklete (°C) (Debrecen)

Év (1)	Ápr. (2)	Máj. (3)	Jún. (4)	Júl. (5)	Aug. (6)	Összesen (mm) Átlag (°C) (7)
Csapadék (mm) (8)						
2017	50,4	31,9	62,3	71,6	67,5	263,7
2018	36,6	60,0	66,8	41,9	97,5	302,8
2019	38,7	103,7	46,9	115,9	14,4	319,6
30 éves átlag (9)	52,8	64,0	66,5	66,1	49,0	298,4
Hőmérséklet (°C) (10)						
2017	10,1	16,3	20,9	21,0	22,1	18,1
2018	15,5	19,0	20,1	21,7	23,2	19,9
2019	12,4	13,1	22,2	20,5	22,2	18,0
30 éves átlag (9)	11,1	16,8	19,4	21,3	20,7	17,8

Table 4. Precipitation (mm) and temperature (°C) during the vegetation period of soybean (Debrecen). (1) Year, (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) Total (mm), Mean (°C), (8) Precipitation (mm), (9) 30-year average, (10) Temperature (°C)

A 2019. év őszi-téli csapadéka különösen kevés volt (165,2 mm) a sokévi átlaghoz képest, míg a 2017. évben átlagos (235,1 mm), illetve a 2018. év őszi-téli periódusában bőséges (345,8 mm) csapadék hullott. A vegetációs periódus

meteorológiai paraméterei (4. táblázat) pedig direkt módon befolyásolták a szója termésképződését. A vízellátás szempontjából a 2018. és 2019. évek csapadék mennyisége (302,8 mm és 319,6 mm) nagyon hasonló volt (a sokévi átlag 298,4 mm), de a megoszlása eltért egymástól. A 2019. évben a kritikus júliusi időszakban jelentős mennyiségű (115,9 mm) csapadék hullott. A 2017. tenyészév (április-augusztus) csapadéka (263,7 mm) elmaradt a sokévi átlagtól (298,4 mm). A vegetációs periódus átlaghőmérséklete (2017. év 18,1 °C, 2018. év 19,9 °C, 2019. év 18,0 °C) mindhárom évben meghaladta a sokévi átlag értékét (17,8 °C).

Az adatok matematikai-statisztikai értékelését a Microsoft Excel (2013) és az SPSS for Windows 19.0 programok segítségével értékeltük.

Eredmények

A tartamkísérletben vizsgált évjáratok eltértek egymástól mind a vegetációs periódus előtti időszak csapadék mennyiségében, mind a tenyészidőszak havi csapadék és hőmérsékleti értékeiben. Ennek ellenére a kísérletben vizsgált két szója genotípus (Boglár, Pannónia kincse) terméseredményei az egyes évjáratokban nem különböztek egymástól jelentős mértékben (5–7. táblázat). A 2017. évben a szója fajták termése 3854–5379 kg/ha, 2018-ban 3637–5318 kg/ha, 2019-ben pedig 3725–5233 kg/ha közötti intervallumban változott fajtától, műtrágya adagtól és vízellátástól függően. A műtrágyázás termésmenvelő hatása rendkívül mérsékelt volt és a termés maximumok eltérő tápanyagszinteken alakultak ki az egyes évjáratokban (5–7. táblázat). 2017 és 2018. években mindkét fajtánál azt tapasztaltuk, hogy a növekvő trágyaadagok a kontrollhoz (műtrágya nélkül) viszonyítva nem növelték, hanem csökkentették a termés mennyiségét. A szója fejlődése, termésképződése szempontjából közel optimális 2019. évben a műtrágyázás termésmenvelő hatású volt, termésdepresszió egyetlen műtrágya kezelésben sem következett be. Ebben az évben is azonban mérsékelt maradt a műtrágyázás termésmenvelő hatása (Boglár fajtánál 0–633 kg/ha, Pannónia kincse fajtánál 298–967 kg/ha termésmenvelő). A műtrágya adagok optimális értéke – a trágyázásnak az esetek többségében nem szignifikáns hatása miatt – rendkívül változó volt az egyes évjáratokban, melyet a vízellátás és a fajta is befolyásolt. 2017. évben a Boglár optimális műtrágya adagja $N_{35-70}+PK$, a Pannónia kincséé $kontroll-N_{70}+PK$ volt, míg ezek az értékek 2018-ban $N_{70-140}+PK$, illetve $N_{35-140}+PK$, 2019-ben pedig $N_{70-105}+PK$, illetve

N₇₀₋₁₀₅+PK voltak fajtától függően. A kísérlet kiváló csernozjom talajának természetes tápanyag-szolgáltató képessége tehát a vizsgált évjáratokban elegendőnek bizonyult a nagy termések (4-5 t/ha) eléréséhez mindkét fajta esetében.

5. táblázat. A trágyázás és öntözés hatása a szója fajták termésére (kg/ha) (Debrecen, 2017)

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Száraz (3)		Fél öntözés (4)		Teljes öntözés (5)		Öntözési terméstöbblet (6)	
		Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Fél öntözés (4)	Teljes öntözés (5)
kg/ha									
Boglár	∅	3854	0	4576	0	5083	0	722	1209
	N ₃₅ +PK	3659	-195	4717	141	5379	296	1058	1720
	N ₇₀ +PK	4082	228	5035	459	4677	-406	953	595
	N ₁₀₅ +PK	3753	-101	4957	381	4696	-387	1204	943
	N ₁₄₀ +PK	3986	132	5010	434	4833	-250	1024	697
Pannónia kincse	∅	4335	0	4220	0	4746	0	-115	411
	N ₃₅ +PK	3960	-375	4325	105	4470	-275	365	510
	N ₇₀ +PK	4223	-112	4482	262	4630	-116	259	407
	N ₁₀₅ +PK	4276	-59	4185	-35	4525	-221	-91	249
	N ₁₄₀ +PK	4160	-175	4707	487	4222	-524	547	62
SzD _{5%} (9)	Fajta (1)	253*		241*		446			
	Öntözés (10)	400	-	381	-	705	-	-	-
	Kölcsönh.(11)	566		539		997			

Megjegyzés: *szignifikáns 5%-os szignifikancia szinten.

Table 5. The effect of fertilisation and irrigation on the yield of soybean cultivars (kg ha⁻¹) (Debrecen, 2017). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Half-dose irrigation, (5) Full dose irrigation, (6) Irrigation yield surplus, (7) Yield, (8) Yield surplus, (9) LSD_{5%}, (10) Irrigation, (11) Interaction, Note: *significant at the 5% level.

Az öntözés termésmenvelő hatását az évjárat jellege befolyásolta (5-7. táblázat). A tenyészidőszak előtti periódus rosszabb vízellátottságát a vegetációs periódus csapadék mennyisége kompenzálni tudta, ha az a szója kritikus fenofázisaiban (virágzás, hüvelykötődés – július) hullott le. Ezért az öntözésnek re-

latíve kedvező terméstöbblete 2017. év és 2018. években volt, míg 2019. évben minimális, nem szignifikáns termésnövekedést tapasztaltunk (2019 júliusában 115,9 mm csapadék hullott).

6. táblázat. *A trágyázás és öntözés hatása a szója fajták termésére (kg/ha) (Debrecen, 2018)*

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Száras (3)		Fél öntözés (4)		Teljes öntözés (5)		Öntözési terméstöbblet (6)	
		Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Fél öntözés (4)	Teljes öntözés (5)
kg/ha									
Boglár	∅	3774	0	4881	0	4550	0	1107	776
	N ₃₅ +PK	3637	-137	4608	-273	4450	-100	971	813
	N ₇₀ +PK	4133	359	4878	-3	4639	89	745	506
	N ₁₀₅ +PK	4320	546	4629	-252	4477	-73	309	157
	N ₁₄₀ +PK	5190	1416	5068	187	5097	547	-122	-93
Pannónia kincse	∅	4248	0	5111	0	4860	0	863	612
	N ₃₅ +PK	4960	712	5111	0	5318	458	151	358
	N ₇₀ +PK	4234	-14	4926	-185	4708	-152	691	474
	N ₁₀₅ +PK	5082	834	5248	137	4780	-80	166	-302
	N ₁₄₀ +PK	5097	894	5125	14	5281	421	28	184
SzD _{5%} (9)	Fajta (1)	530		281*		223**			
	Öntözés (10)	838	-	445	-	352*	-	-	-
	Kölcsönh.(11)	1185		629		498			

Megjegyzés: *szignifikáns 5%-os szignifikancia szinten, **szignifikáns 1%-os szignifikancia szinten.

Table 6. The effect of fertilisation and irrigation on the yield of soybean cultivars (kg ha⁻¹) (Debrecen, 2018). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Half-dose irrigation, (5) Full dose irrigation, (6) Irrigation yield surplus, (7) Yield, (8) Yield surplus, (9) LSD_{5%}, (10) Irrigation, (11) Interaction, Note: *significant at the 5% level, **significant at the 1% level.

2017. évben az öntözés terméstöbblete a féladagú öntözési variációban 0–1024 kg/ha, a teljes adagú öntözési kezelésben pedig 62–1720 kg/ha volt, míg 2018-ben 0–1107 kg/ha, illetve 0–813 kg/ha termésnövekedést kaptunk, azaz a két öntözési kezelés terméstöbblete nem különbözött szignifikánsan egy-

mástól. A 2019. év kedvező csapadék mennyisége és eloszlása miatt az öntözés termésmenvelő hatása nagyon mérsékelt maradt (féladagú öntözésnél 0–512 kg/ha, teljes adagú öntözésnél 0–406 kg/ha).

7. táblázat. A trágyázás és öntözés hatása a szója fajták termésére (kg/ha)
(Debrecen, 2019)

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Szárász (3)		Fél öntözés (4)		Teljes öntözés (5)		Öntözési terméstöbblet (6)	
		Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Termés (7)	Termés- többlet (8)	Fél öntözés (4)	Teljes öntözés (5)
kg/ha									
Boglár	∅	3761	0	3725	0	3825	0	-36	64
	N ₃₅ +PK	3882	121	3967	242	4081	256	85	199
	N ₇₀ +PK	4180	419	4031	306	4458	633	-149	278
	N ₁₀₅ +PK	4045	284	4102	377	4138	313	57	93
	N ₁₄₀ +PK	3967	206	3889	164	3825	0	-78	-142
Pannónia kincse	∅	4202	0	4714	0	4308	0	512	106
	N ₃₅ +PK	4906	704	5055	341	5211	903	149	305
	N ₇₀ +PK	4827	625	5012	298	5233	925	185	406
	N ₁₀₅ +PK	5169	967	5190	476	5090	782	21	-75
	N ₁₄₀ +PK	5041	839	5069	355	5133	825	28	92
SzD _{5%} (9)	Fajta (1)	442**		265**		325**			
	Öntözés (10)	698	-	418	-	514	-	-	-
	Kölcsönh.(11)	988		592		726			

Megjegyzés: **szignifikáns 1%-os szignifikancia szinten.

Table 7. The effect of fertilisation and irrigation on the yield of soybean cultivars (kg ha⁻¹) (Debrecen, 2019). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Half-dose irrigation, (5) Full dose irrigation, (6) Irrigation yield surplus, (7) Yield, (8) Yield surplus, (9) LSD_{5%}, (10) Irrigation, (11) Interaction, Note: **significant at the 1% level.

A tartamkísérletben a korai érésű Boglár és a középérésű Pannónia kincse fajtákat vizsgáltuk a 2017-2018-2019. években (8–10. táblázat). A két fajta termésmaximuma az egyes évjáratokban nem különbözött szignifikánsan egymástól. A Boglár maximális termése 2017-ben 5379 kg/ha, 2018-ban 5190 kg/ha, 2019-ben pedig 4458 kg/ha volt, míg a Pannónia kincse fajta 4707 kg/ha,

5318 kg/ha, 5233 kg/ha termést adott. Vizsgálati eredményeink szerint (8–10. táblázat) a Boglár műtrágyázási és öntözési terméstöbblete a 2017. és 2018. években meghaladta a Pannónia kincse értékeit.

8. táblázat. A szója fajták trágyázási, öntözési reakciójának komplex értékelése (Debrecen, 2017)

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Szárász (3)		Öntözött (4)		Öntözési termés- többlet (5)	WUE	
		Termés (6)	Termés- többlet (7)	Termés (6)	Termés- többlet (7)		Szárász (8)	Öntö- zött (9)
		kg/ha				kg/mm		
Boglár	∅	3852	0	5063	0	1209	14,6	13,9
	N _{opt} +PK	4082 (N ₇₀ +PK)	228	5379 (N ₃₅ +PK)	316	1297	15,5	14,8
Pannónia kincse	∅	4335	0	4746	0	411	16,4	13,0
	N _{opt} +PK	4276 (N ₁₀₅ +PK)	-59	4746 (∅)	0	470	16,2	13,0

Table 8. Complex evaluation of the fertiliser and irrigation reaction of the examined soybean cultivars (Debrecen, 2017). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Irrigated, (5) Irrigation yield surplus, (6) Yield, (7) Yield surplus, (8) Dry, (9) Irrigated

A kísérleti adatok felhasználásával kiszámítottuk a vizsgált szója fajták fajlagos vízhasznosítását a vizsgált években (1–3. ábra). Más növényekkel (pl. búza, kukorica) ellentétben a műtrágya kezelések csak minimális mértékben javították a szója fajták vízhasznosítását mind a száraz, mind az öntözési kezeléseknél. Az évjárat hatására is csak kismértékben változott a szója fajták fajlagos vízhasznosítása. 2017. évben száraz kezelésben 12,4–16,2 kg/mm, 2018-ban 12,0–16,8 kg/mm, 2019-ben 11,8–16,2 kg/mm intervallumban változtak a fajlagos értékek, míg az öntözött kezeléseknél 11,6–16,1 kg/mm, 10,5–14,1 kg/mm és 9,1–14,0 kg/mm értékeket lehetett megállapítani. A fél és teljes adagú öntözött kezeléseknél a fajlagos vízhasznosításának a kiszámításánál a vegetációs periódus (április–augusztus) csapadék mellett az egyes években kijuttatott öntözővíz mennyiségeket is figyelembe vettük.

9. táblázat. *A szója fajták trágyázási, öntözési reakciójának komplex értékelése (Debrecen, 2018)*

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Szárász (3)		Öntözött (4)		Öntözési termés- többlet (5)	WUE	
		Termés (6)	Termés- többlet (7)	Termés (6)	Termés- többlet (7)		Szárász (8)	Öntö- zött (9)
							kg/ha	
							kg/mm	
Boglár	∅	3774	0	4550	0	776	12,5	10,8
	N _{opt} +PK	5190 (N ₁₄₀ +PK)	1416	5097 (N ₁₄₀ +PK)	547	-93	17,1	12,1
Pannónia kincse	∅	4248	0	4860	0	612	13,7	11,5
	N _{opt} +PK	5097 (N ₁₄₀ +PK)	849	5318 (N ₃₅ +PK)	458	221	13,7	12,6

Table 9. Complex evaluation of the fertiliser and irrigation reaction of the examined soybean cultivars (Debrecen, 2018). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Irrigated, (5) Irrigation yield surplus, (6) Yield, (7) Yield surplus, (8) Dry, (9) Irrigated

10. táblázat. *A szója fajták trágyázási, öntözési reakciójának komplex értékelése (Debrecen, 2019)*

Fajta (1)	Mtr. adag (2)	Szárász (3)		Öntözött (4)		Öntözési termés- többlet (5)	WUE	
		Termés (6)	Termés- többlet (7)	Termés (6)	Termés- többlet (7)		Szárász (8)	Öntö- zött (9)
							kg/ha	
							kg/mm	
Boglár	∅	3761	0	3825	0	64	11,8	9,1
	N _{opt} +PK	4180 (N ₇₀ +PK)	419	4458 (N ₇₀ +PK)	633	278	13,1	10,6
Pannónia kincse	∅	4202	0	4308	0	106	12,8	10,3
	N _{opt} +PK	5169 (N ₁₀₅ +PK)	967	5233 (N ₇₀ +PK)	925	64	16,2	12,5

Table 10. Complex evaluation of the fertiliser and irrigation reaction of the examined soybean cultivars (Debrecen, 2019). (1) Cultivar, (2) Fertiliser dose, (3) Dry, (4) Irrigated, (5) Irrigation yield surplus, (6) Yield, (7) Yield surplus, (8) Dry, (9) Irrigated

1. ábra. A szója fajták fajlagos vízhasznosítása (WUE, kg/mm)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2017)

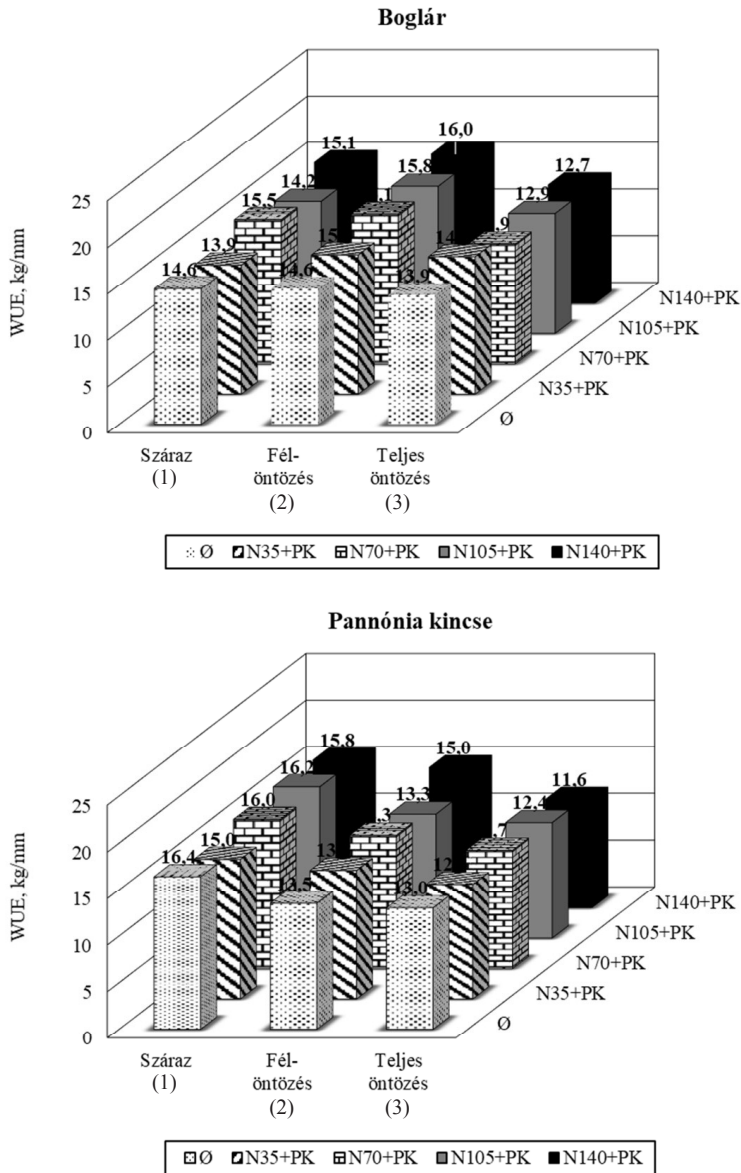


Figure 1. Specific WUE of the examined soybean cultivars (WUE, kg mm⁻¹) (Debrecen, chernozem soil, 2017). (1) Dry, (2) Half dose irrigation, (3) Full dose irrigation

2. ábra. A szója fajták fajlagos vízhasznosítása (WUE, kg/mm)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2018)

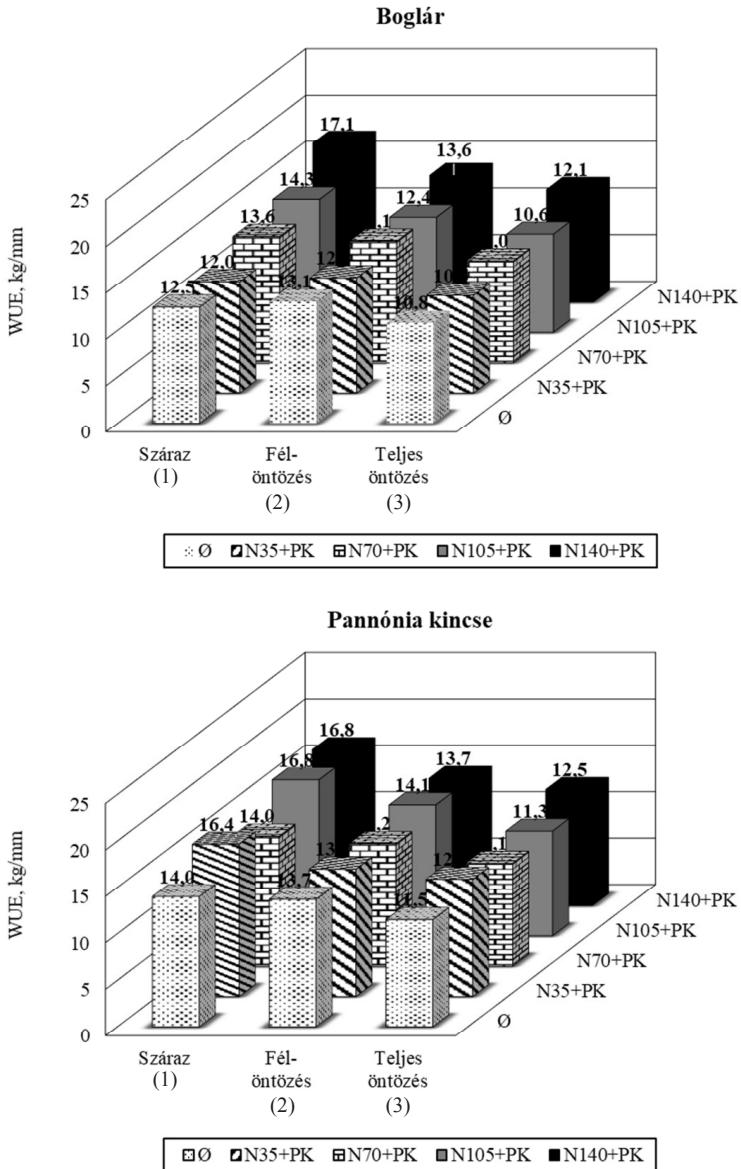


Figure 2. Specific WUE of the examined soybean cultivars (WUE, kg mm⁻¹) (Debrecen, chernozem soil, 2018). (1) Dry, (2) Half dose irrigation, (3) Full dose irrigation

3. ábra. A szója fajták fajlagos vízhasznosítása (WUE, kg/mm)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2019)

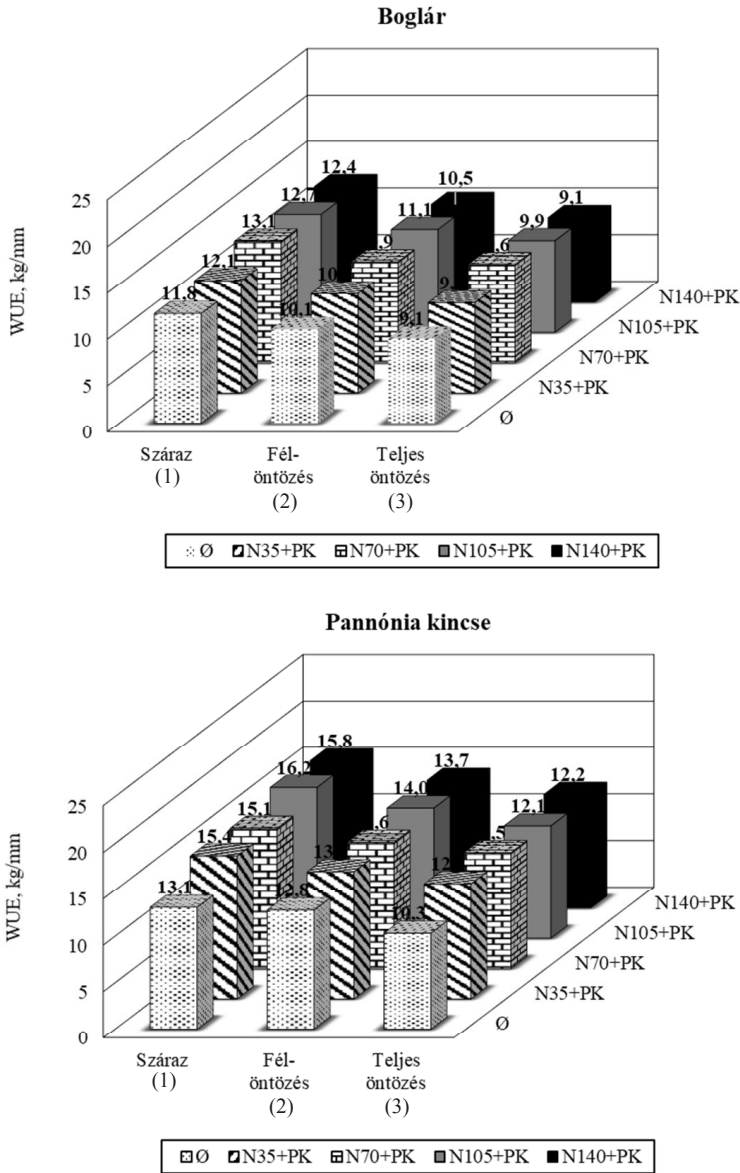


Figure 3. Specific WUE of the examined soybean cultivars (WUE, kg mm⁻¹) (Debrecen, chernozem soil, 2019). (1) Dry, (2) Half dose irrigation, (3) Full dose irrigation

Ezek az értékek azt bizonyították, hogy a szója fajlagos vízhasznosítása a fél és teljes öntözési kezeléseknél romlott a nem öntözött (száraz) kezeléshez viszonyítva, azaz a szója növényállományok a rendelkezésükre álló többlet vízmennyiséget (öntözés) pazarlóan használták fel.

Következtetések

A három éves (2017., 2018., 2019. évek) tartamkísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy a szója terméseredményét részben a vegetációs periódus előtti, de főleg a tenyészidőszak csapadék mennyisége és annak eloszlása határozta meg. Az eltérő időjárású évjáratok ellenére a vizsgált szójafajták terméseredménye meglehetősen kiegyenlített volt. A maximális termés 2017-ben 5,4 t/ha, 2018-ban 5,3 t/ha, 2019-ben pedig 5,2 t/ha volt, szemben *Turner et al.* (1978), *Liu et al.* (2003), *Vurukonda et al.* (2016) és *Wei et al.* (2018) eredményeivel. A genotípus eltérő adaptációját bizonyították kísérleti eredményeink *Desclaux* és *Roumet* (1996), valamint *Bellaloui* és *Mengistu* (2008) eredményeihez hasonlóan. A szója műtrágyázásra adott mérsékelt terméstöbblete cáfolta *Fageria* és *Baligar* (2005) eredményeit, miszerint a szójának nagy nitrogén igénye van. A műtrágyázás mérsékelt terméstöbbletet adott a Boglár (0–633 kg/ha) és a Pannónia kincse (298–967 kg/ha) fajtáknál, ami igazolta *Wani et al.* (1995) korábbi kutatási eredményeit. Az öntözés termésmenvelő hatása évjáratától függött. Az öntözés terméstöbblete a féladagú öntözésben 0–1024 kg/ha, a teljes adagú öntözésben 62–1720 kg/ha, valamint 0–1107 kg/ha, illetve 0–813 kg/ha volt a kedvezőtlenebb vízellátottságú 2017. és 2018. években. Az optimálisához közeli vízellátottságú 2019. évben (júliusban 115,9 mm csapadék hullott) sokkal mérsékeltőbb volt az öntözés terméstöbblete mind a féladagú (0–512 kg/ha), mind a teljes adagú (0–406 kg/ha) öntözési kezelésben.

A szója vízhasznosítását jellemző WUE értékek azt bizonyították, hogy azt az évjárat, a műtrágyázás és a fajta kevésbé befolyásolta. Ezzel szemben az öntözött kezeléseknél romlott a szója fajlagos vízhasznosítása. A nem öntözött (száraz) kezelésben a WUE értékek 2017-ben 12,4–16,2 kg/mm, 2018-ban 12,0–16,8 kg/mm, 2019-ben pedig 11,8–16,2 kg/mm intervallumban változtak, míg a teljes öntözés kezelésben ezek az értékek 11,6–16,1 kg/mm, 10,5–14,1 kg/mm és 9,1–14,0 kg/mm voltak, azaz az öntözéssel adott többlet vízmennyiséget a szója állományok pazarlóan hasznosították.

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

- Balikó S.–Bódis L.–Kralovánszky U. P.*: 2005. A szója termesztése. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 217.
- Bellaloui, N.–Mengistu, A.*: 2008. Seed composition is influenced by irrigation regimes and cultivar differences in soybean. *Irrigation Science*. 26. 3: 261–268.
- Bhatia, V. S.–Jumrani, K.*: 2016. A maximin-minimax approach for classifying soybean genotypes for drought tolerance based on yield potential and loss. *Plant Breed.* 136: 691–700.
- Caliskan, S.–Ozkaya, I.–Caliskan, M. E.–Arslan, M.*: 2008. The effects of nitrogen and iron fertilization on growth, yield and fertilizer use efficiency of soybean in a Mediterranean-type soil. *Field Crops Research*. 108: 126–132.
- Desclaux, D.–Roumet, P.*: 1996. Impact of drought stress on the phenology of two soybean (*Glycine max* L. Merr) cultivars. *Field Crops Research*. 46: 61–70.
- Fageria, N.–Baligar, V.*: 2005. Enhancing nitrogen use efficiency in crop plants. *Advances in Agronomy*. 88: 97–185.
- FAOSTAT*: 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT database <http://www.fao.org/faostat/en/>. Elérés: 2020. 03. 25.
- Kurnik E.*: 1976. Nagyüzemi szójatermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 258.
- Liu, A. M.–Feng, Z. M.–Yan, L. Z.–Ge, Y. U.*: 2003. Study on soybean throughput based on cultivated land resources restriction in China. *J. Nat. Resour.* 18: 430–436.
- Lozovaya, V. V.–Lygin, A. V.–Ulanov, A. V.–Nelson, R. L.–Daydé J.–Widholm, J. M.*: 2005. Effect of temperature and soil moisture status during seed development on soybean seed isoflavone concentration and composition. *Crop Sci.* 45: 1934–1940.
- Silveira, J. A. G.–Costa, R. C. L.–Viegas, R. A.–Oliveira, J. T. A.–Figueiredo, M. V. B.*: 2003. N-Compound accumulation and carbohydrate shortage on N₂ fixation in drought-stressed and rewatered cowpea plants. *Span. J. Agric. Res.* 1: 65–75.
- Talebi, R.–Ensafi, M. H.–Bagheban, N.–Karami, E.–Mohammadi, K. H.*: 2013. Physiological responses of chickpea (*Cicer arietinum*) genotypes to drought stress. *Environ. Exp. Biol.* 11: 9–15.

- Turner, N.–Begg, J.–Rawson, H.–English, S.–Hearn, A.:* 1978. Agronomic and Physiological Responses of Soybean and Sorghum Crops to Water Deficits. III. Components of Leaf Water Potential, Leaf Conductance, 14 CO_2 Photosynthesis and Adaptation to Water Deficits. *Funct. Plant Biol.* 5: 179–194.
- Van Heerden, P. D. R.–Krüger, G. H. J.:* 2000. Photosynthetic limitation in soybean during cold stress. *South Afr. J. Sci.* 96: 201–206.
- Vurukonda, S. S. K. P.–Vardharajula, S.–Shrivastava, M.–SkZ. A.:* 2016. Enhancement of drought stress tolerance in crops by plant growth promoting rhizobacteria. *Microbiol. Res.* 184: 13–24.
- Wani, S. P.–Rupela, O. P.–Lee, K. K.:* 1995. Sustainable agriculture in the semi-arid tropics through biological nitrogen-fixation in grain legumes. *Plant Soil.* 174: 29–49.
- Wei, Y.–Jin, J.–Jiang, Sh.–Ning, Sh.–Liu, L.:* 2018. Quantitative Response of Soybean Development and Yield to Drought Stress during Different Growth Stages in the Huaibei Plain, China. *Agronomy.* 8: 97.
- Yan, C. J.–Wang, W. B.–Xiao-Jie, T. U.–Wang, C. L.–Zhang, L. J.–Qiang, D. U.–Song, S. H.:* 2013. Effect of Drought Stress at Different Growth Stage on Yield and Root Characteristics of Soybean. *Soybean Sci.* 1: 59–67.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

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

Az évjárat×öntözés speciális interaktív hatásai kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletben

¹PEPÓ PÉTER – ²VAD ATTILA – ²TÖRÖK TAMÁS

Debreceni Egyetem

¹MÉK Növénytudományi Intézet, Debrecen

²AKIT Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Polifaktoriális tartamkísérletben vizsgáltuk az eltérő vízellátottságú évjáratok (száraz = 2007. év, átlagos = 2015. év, kedvező = 2019. év) és az agrotechnikai elemek (öntözés, trágyázás, vetésváltás) kölcsönhatását kukorica modellnövénynél, csernozjom talajon, a kelet-magyarországi régióban (Hajdúság). A kukorica maximális termésszintjét az évjárat határozta meg, melyet az agrotechnikai tényezők módosítottak. A termésmaximum száraz évjáratban 4,3–8,0 t/ha (nem öntözött) és 8,6–11,0 t/ha (öntözött) között változott, míg átlagos évben 10,1–12,8 t/ha (száraz) és 12,7–13,9 t/ha (öntözött), kedvező vízellátottságú évben pedig 12,8–13,9 t/ha (száraz) és 13,5–13,9 t/ha (öntözött) volt. Az optimális műtrágya adagot a vetésváltás szignifikánsan meghatározta. Optimális műtrágya adagnak monokultúrában az $N_{180-240}+PK$, bikultúrában az $N_{120-180}+PK$, trikultúrában pedig az $N_{60-120}+PK$ dózist kaptuk. Az öntözés terméstöbbletét az évjárat vízellátottsága határozta meg. Száraz évjáratban 2,5–5,9 t/ha, átlagos évben 1,0–2,7 t/ha és kedvező vízellátottságú évben 0,5–1,0 t/ha között változott az öntözési terméstöbblet vetésváltástól függően. Tartamkísérleti eredményeink a tápanyag×vízellátás szoros, interaktív hatását bizonyították. A kukorica trágyázás terméstöbblete száraz évben 1,3–1,6 t/ha (nem öntözött) és 2,5–3,4 t/ha (öntözött) között változott. Átlagos évben 1,6–5,6 t/ha (száraz) és 2,3–7,5 t/ha (öntözött), kedvező évben pedig 1,8–4,7 t/ha (száraz) és 1,1–5,0 t/ha (öntözött) trágyázási terméstöbbleteket kaptunk. Az évjárat vízellátottsága a kukorica vízhasznosítását is befolyásolta. A WUE értékek száraz évben 12,6–40,5 kg/mm, átlagos évben 19,5–50,2 kg/mm, kedvező évben pedig 25,1–43,5 kg/mm intervallumban

változtak a nem öntözött feltételek mellett. Öntözés hatására romlott a kukorica vízhasznosítása (WUE értékek száraz évben 13,1–27,6 kg/ha, átlagos évben 14,7–39,3 kg/mm, kedvező évben 20,1–33,2 kg/mm).

Kulcsszavak: évjárat, kukorica, öntözés, trágyázás, vetésváltás, WUE

The special interactive effects of crop year×irrigation in a maize (*Zea mays* L.) field experiment

¹P. PEPÓ - ²A. VAD - ²T. TÖRÖK

University of Debrecen

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

²Institutes for Agricultural Research and Educational Farm,
Debrecen Regional Farm and Regional Research Institute, Debrecen

Summary

In a polyfactorial duration experiment we examined the interaction of crop years with different water supply (dry = 2007, average = 2015, favorable = 2019) and agrotechnical elements (irrigation, fertilisation, crop rotation) in maize as a model crop, on chernozem soil, in the Eastern Hungarian region (Hajdúság). The maximum yield level of maize was determined by the given crop year, which was further modified by different agrotechnical factors. The maximum yield varied between 4.3–8.0 t ha⁻¹ (non-irrigated) and 8.6–11.0 t ha⁻¹ (irrigated) in the dry year, while in the average year it was 10.1–12.8 t ha⁻¹ (dry) and 12.7–13.9 t ha⁻¹ (irrigated), and in years with favorable water supply it varied between 12.8–13.9 t ha⁻¹ (dry) and 13.5–13.9 t ha⁻¹ (irrigated). The optimal fertiliser dose was significantly determined by crop rotation. The optimal fertiliser dose was N₁₈₀₋₂₄₀+PK in monoculture, N₁₂₀₋₁₈₀+PK in biculture and N₆₀₋₁₂₀+PK in triculture. The yield surplus from irrigation was determined by the water supply of the given crop year. The yield surplus from irrigation varied between 2.5–5.9 t ha⁻¹ in dry years, 1.0–2.7 t ha⁻¹ in average years and 0.5–1.0 t ha⁻¹ in years with favorable water supply, depending on crop rotation. Our long-term experimental results demonstrated the close, interactive effect of nutrient×water supply. The yield surplus of maize

fertilisation in the dry year varied between 1.3–1.6 t ha⁻¹ (non-irrigated) and 2.5–3.4 t ha⁻¹ (irrigated). The yield surplus from fertilisation ranged between 1.6–5.6 t ha⁻¹ (dry) and 2.3–7.5 t ha⁻¹ (irrigated) in an average year, and 1.8–4.7 t ha⁻¹ (dry) and 1.1–5.0 t ha⁻¹ (irrigated) in a favorable year. The water supply of the crop year also affected the water utilization efficiency of maize. WUE values varied in the range of 12.6–40.5 kg mm⁻¹ in the dry year, 19.5–50.2 kg mm⁻¹ in the average year, and 25.1–43.5 kg mm⁻¹ in the favorable year under non-irrigated conditions. As a result of irrigation, the water utilization of maize deteriorated (WUE values in the dry year: 13.1–27.6 kg ha⁻¹, in the average year: 14.7–39.3 kg mm⁻¹, in the favorable year: 20.1–33.2 kg mm⁻¹).

Key words: crop year, maize, irrigation, fertilisation, crop rotation, WUE

Специальные интеракционные влияния года выращивания×орошение в продолжительном опыте кукурузы (*Zea mays* L.)

¹П. ПЕПО – ²А. ВАД – ²Т. ТЁРЁК

Дебреценский Университет

¹МЭК Институт Ботаники, Дебрецен

²АКИТ ДТТИ, Дебрецен

Резюме

В полифакторном продолжительном опыте исследовали взаимовлияния различных по обеспеченности водой лет выращивания (сухой = 2007 год, средний = 2015 год, благоприятный = 2019 год) и агротехнических элементов (орошение, удобрение, севомен) у растения-модели кукурузы, на чернозёмной почве, в восточном регионе Венгрии Хайдушэг (Hajdúság). Максимальный уровень урожая кукурузы определял год выращивания, который изменяли агротехнические факторы. Изменения максимума урожая были в сухой год выращивания между 4,3–8,0 t/ha (неорошаемое) и 8,6–11,0 t/ha (орошаемое), а в средний год между 10,1–12,8 t/ha (сухое) и 12,7–13,9 t/ha (орошаемое), а в благоприятно обеспеченный водой год между 12,8–13,9 t/ha (сухое) и 13,5–13,9 t/ha (орошаемое). Севомен значительно определял оптимальную дозу искусственного удобрения. Оптимальные дозы искусственного удобрения получи-

ли в монокультуре $N_{180-240}+PK$, в бикультуре $N_{120-180}+PK$, а в трикультуре $N_{60-120}+PK$. Прибавку урожая от орошения определила обеспеченность водой года выращивания. Прибавка урожая изменялась в сухой год в пределах 2,5–5,9 t/ha, в средний год 1,0–2,7 t/ha и в благоприятный водообеспеченный год 0,5–1,0 t/ha в зависимости от севомена. Наши продолжительные опыты подтвердили тесное интерактивное влияние питательного вещества x водообеспеченность. Прибавка урожая от внесения удобрений под кукурузу изменялась в сухой год в пределах 1,3–1,6 t/ha (неорошаемое) и в пределах 2,5–3,4 t/ha (орошаемое). Прибавки урожая от удобрения получили в средний год 1,6–5,6 t/ha (сухое) и 2,3–7,5 t/ha (орошаемое), а в благоприятный год 1,8–4,7 t/ha (сухое) и 1,1–5,0 t/ha (орошаемое). Водообеспеченность года выращивания также повлияла на использование воды кукурузой. Показатели WUE изменялись в сухой год в интервалах 12,6–40,5 kg/mm, в средний год 19,5–50,2 kg/mm, а в благоприятный год 25,1–43,5 kg/mm в неорошаемых условиях. Под влиянием орошения ухудшалось использование воды кукурузой (величины WUE в сухой год 13,1–27,6 kg/ha, в средний год 14,7–39,3 kg/mm, в благоприятный год 20,1–33,2 kg/mm).

Ключевые слова: год выращивания, кукуруза, орошение, внесение удобрений, севомен, WUE

Bevezetés

A kukorica az egyik legnagyobb területen termesztett szántóföldi növényünk. Hazánkban a kukorica országos termésátlagai jelentős ingadozást mutatnak, amelynek egyik legfontosabb oka a klímaváltozás (Ruzsányi 1992, Bocz 1995, Sárvári 2006, PEPÓ 2007). Az évjárat csapadék mennyisége, annak eloszlása, valamint a vegetációs periódus hőmérsékleti viszonyai egyaránt meghatározó jelentőségűek a kukorica termésmennyisége szempontjából (Huzsvai és Nagy 2005, PEPÓ et al. 2005, 2006). Számos kutatás (Geerts és Raes 2009, Geerts et al. 2010, Vico és Porporato 2011, Biazin és Stroosnijder 2012, Breton et al. 2012) azt igazolta, hogy a kukorica kifejezetten érzékenyen reagál a klímaváltozás okozta szélsőséges időjárási hatásokra.

A kukorica termésmennyiségét számos környezeti (Wolf és Van Diepen 1995, Kovacevic et al. 2009, Olesen et al. 2011), agrotechnikai (Kirda et al. 2005, Josipovic et al. 2012) és genetikai tényező (PEPÓ és Csajbók 2014) egyaránt befolyásolja. Ezen interaktív hatások közül kiemelten fontos a kukorica

tápanyag- és vízellátása. A kukorica nagy mennyiségű tápanyagot vesz fel a talajból és a kijuttatott trágyákból a nagy termések eléréséhez (Ruzsányi 1992, Berzsenyi et al. 2005, Pepó et al. 2007). A víz- és tápanyag-deficit jelentősen csökkenti a kukorica termését (Gonzalez-Dugo et al. 2010). A tápelemek közül a nitrogénnek elsődleges fontossága van a kukorica nagy termésének képződésében (Teixeira et al. 2014, Paschalidis et al. 2015, Wang et al. 2017).

A száraz évjáratokban a kukorica az öntözést jelentős terméstöbblettel hálaálja meg (Ruzsányi 1990, Pepó et al. 2008). Quemada és Gabriel (2016) kísérleti eredményei azt bizonyították, hogy a kukorica vízhasznosítása jelentősen eltért az évjáratától és az agrotechnikai feltételektől függően. Clark et al. (1999), Josipovic et al. (2012), Markovic et al. (2017) és Pepó (2020) kutatási eredményei azt bizonyították, hogy szoros, interaktív kapcsolat van a kukorica víz- és tápanyagellátása között, amely alapvetően befolyásolja a kukorica termését.

A több évtizedes tartamkísérletünkben a vizsgálatokkal az volt a célunk, hogy eltérő évjáratokban (aszályos, átlagos és kedvező vízellátottságú) meghatározzuk az öntözés, a trágyázás és a vetésváltási rendszerek hatását a kukorica termésére és annak trágya- és vízhasznosítására.

Anyag és módszer

A tartamkísérletet 1983. évben állítottuk be mészlepedékes csernozjom talajon. A kísérlet a Hajdúságban található, Debrecentől 15 km-re nyugatra (É.sz. 47°33', K.h. 21°27'). A kísérlet talaja kedvező tulajdonságokkal jellemezhető. A talaj humusztartalma 2,6–2,8%, pH_{KCl} értéke 6,36–6,53, kötöttsége (K_A) 40–42, azaz vályog fizikai féleségű. A humuszos réteg vastagsága 80–100 cm. A talaj AL-oldható P_2O_5 tartalma (133 mg/kg) közepes, az AL-oldható K_2O tartalma (240 mg/kg) pedig jó P-, illetve K-ellátottságot biztosít. A talaj fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságait az 1. táblázat, jellemző vízgazdálkodási paramétereit pedig a 2. táblázat tartalmazza. A növények vízellátása szempontjából mértékadó szelvényben (0–200 cm) a talaj 650–750 mm vizet képes megtartani, melynek 65%-a diszponibilis víz.

A polifaktoriális tartamkísérletben speciális vetésforgó rendszerekben vizsgáljuk a szántóföldi növények agrotechnikai elemeit eltérő évjáratokban. Ezek a következők:

- vetésváltás
 - monokultúra: kukorica,

- bikultúra: kukorica–búza váltás évenként,
- trikultúra: kukorica–szója–búza vetési sorrend;
- trágyázás
Öt tápanyagkezelés: kontroll, műtrágyázási alap dózis N=60 kg/ha, P₂O₅=45 kg/ha, K₂O=45 kg/ha, valamint az alap dózis 2, 3, 4-szeres mennyisége. A műtrágyák közül a foszfor és kálium mennyiségének 100%-át, a nitrogénnek 50%-át őszelel juttattuk ki. A maradék 50% nitrogén kora tavasszal, a vetést megelőzően került kijuttatásra és a magágykészítéssel bedolgozásra.
- vízellátás
A tartamkísérletben száraz és öntözött vízellátottsági változatot alkalmaztunk. Az elemzésre kerülő három évjáratban az öntözési rend az alábbiak szerint alakult:

	száraz kezelés	öntözött kezelés
2007. év	-	4×50 mm=200 mm
2015. év	-	2×50 mm=100 mm
2019. év	-	2×50 mm=100 mm

- évjárat

A tartamkísérleti eredmények közül három eltérő vízellátottságú évjáratot választottunk ki:

- 2007. év – száraz, aszályos évjárat,
- 2015. év – átlagos vízellátottságú évjárat,
- 2019. év – kedvező vízellátottságú évjárat.

A tartamkísérlet teljes területe 10,5 ha. A kísérleti parcellák bruttó területe 41,4 m². A kísérlet split-split-plot elrendezésű, négy ismétléssel. A kísérletben alkalmazott agrotechnika (talajművelés, vetés, növényvédelem, betakarítás) egységes volt és megfelelt a korszerű kukoricatermesztés követelményeinek.

A három jellegzetesen eltérő évjárat (2007., 2015., 2019. évek) meteorológiai adatait a 3–4. táblázat tartalmazza. A tartamkísérlet csernozjom talajának kitűnő vízgazdálkodási tulajdonságai indokolták, hogy az adott évet megelőző őszi-téli-kora tavaszi hónapok csapadékmennyiségét is figyelembe vegyünk (3. táblázat). A 2006/2007. év vegetációs periódus előtti hónapjaiban rendkívül kevés csapadék (128,2 mm, a sokévi átlag 214,1 mm) hullott. A 2014/2015. év vegetáció előtti csapadéka (181,4 mm), valamint a 2018/2019. évnél ezen időszakra vonatkozó csapadéka (165,2 mm) is elmaradt a sokévi átlagtól.

1. táblázat. A kísérleti terület talajvizsgálati adatai
(Debrecen)

Talajréteg (cm) (1)	pH _{KCl}	K _A (2)	CaCO ₃ (%) (3)	Humusz (%) (3)	Össz. N (%) (4)	NO ₃ +NO ₂ (ppm)
0-25	6,46	43,0	0	2,76	0,150	6,20
25-50	6,36	44,6	0	2,16	0,120	1,74
50-75	6,58	47,6	0	1,52	0,086	0,60
75-100	7,27	46,6	10,25	0,90	0,083	1,92
100-130	7,36	45,4	12,75	0,59	0,078	1,78

Talajréteg (cm) (1)	P ₂ O ₅ AL oldható (5) (ppm)	K ₂ O (ppm)	Mg (ppm)	Na (ppm)	Zn (ppm)	Cu (ppm)	Mn (ppm)	SO ₄ (ppm)
0-25	133,4	239,8	332,4	38,0	2,80	5,86	438	9,25
25-50	48,0	173,6	405,4	66,2	0,80	4,54	406	9,13
50-75	40,4	123,0	366,6	55,4	0,58	3,64	339	10,80
75-100	39,8	93,6	249,0	67,8	0,48	2,24	74	7,95
100-130	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)

Rendkívül érdekesen alakultak a vizsgált évek tenyészidőszakának (április-augusztus) hőmérsékleti- és csapadék-viszonyai. Mindhárom tenyészév átlaghőmérséklete (2007. év 19,8 °C, 2015. év 18,4 °C, 2019. év 18,0 °C) lényegesen meghaladta a sokévi átlagot (17,8 °C). Különösen jelentős volt a különbség (+2,0 °C) az aszályos 2007. évben. A havi csapadékösszegek visszatükrözték az évjárat jellegét. A sokévi átlaghoz képest (298,4 mm) a legkevesebb csapadék a 2007. évben hullott (197,7 mm), de az átlagos vízellátottságú 2015. év csapadék összege (254,9 mm) is elmaradt attól. A kedvező vízellátottságú 2019. évben a vegetációs periódusban lehullott csapadék mennyisége (319,6 mm) nemcsak meghaladta a sokévi átlagot, hanem a csapadék eloszlása is igen kedvező volt (a vegetatív növekedés időszakában, májusban 103,7 mm, a virágzás-terméke nyílás időszakában, júliusban 115,9 mm). A vizsgált évjáratokban meghatároztuk a különböző vetésváltási, trágyázási és vízellátottsági kezelésekből a kukorica WUE (Water Use Efficiency) értékeit az állományok vízhasznosításának a jellemzésére (WUE=termés kg/ha : vegetációbeli csapadék mm=kg/mm).

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 _{min} %) (5)	Holtvív- 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_{min}%), (6) Wilting point (HV%), (7) Hygroscopicity

3. táblázat. *A kukorica vegetációs periódusa előtti időszak havi csapadékmennyiségei (Debrecen)*

Vegetációs periódus (1)	Csapadék (mm) (2)						Összesen (Okt.-márc.) (9)
	Okt. (3)	Nov. (4)	Dec. (5)	Jan. (6)	Febr. (7)	Márc. (8)	
2006/2007	22,9	9,2	5,0	23,9	53,2	14,0	128,2
2014/2015	88,6	20,8	37,9	39,5	18,6	10,2	181,4
2018/2019	10,1	52,0	50,9	36,1	6,7	9,4	165,2
30 éves átlag (10)	37,9	41,6	43,7	29,7	31,0	30,2	214,1

Table 3. Monthly precipitation data of the period preceding the vegetation period of maize (Debrecen). (1) Vegetation period, (2) Precipitation (mm), (3) October, (4) November, (5) December, (6) January, (7) February, (8) March, (9) Total (October-March), (10) 30-year average

4. táblázat. A kukorica vegetációs periódusa alatti időszak fontosabb meteorológiai adatai (Debrecen)

Vegetációs periódus (1)	Ápr. (2)	Máj. (3)	Jún. (4)	Júl. (5)	Aug. (6)	Csapadék (összesen, mm) Hőmérséklet (átlag, °C) (7)
2007						
Csapadék (mm) (8)	3,6	54,0	22,8	39,7	77,6	197,7
Hőmérséklet (°C) (9)	12,6	18,4	22,2	23,3	22,3	19,8
2015						
Csapadék (mm) (8)	21,9	52,9	60,5	35,6	84,0	254,9
Hőmérséklet (°C) (9)	10,1	15,8	19,9	22,9	23,3	18,4
2019						
Csapadék (mm) (8)	38,7	103,7	46,9	115,9	14,4	319,6
Hőmérséklet (°C) (9)	12,4	13,1	22,0	20,5	22,2	18,0
30 éves átlag (10)						
Csapadék (mm) (8)	52,8	64,0	66,5	66,1	49,0	298,4
Hőmérséklet (°C) (9)	11,1	16,6	19,4	21,3	20,7	17,8

Table 4. Main weather data of the vegetation period of maize (Debrecen). (1) Vegetation period, (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) Precipitation (total, mm) Temperature (average, °C), (8) Precipitation (mm), (9) Temperature (°C), (10) 30-year average

Az adatok matematikai-statisztikai értékelését a Microsoft Excel (2013) és az SPSS for Windows 19.0 programok segítségével végeztük el.

Eredmények

A tartamkísérleteink eredményei közül három, jellemzően eltérő vízellátottságú évjáratban (2007. év = száraz, 2015. év = átlagos, 2019. év = kedvező) vizsgáltuk az évjárat hatását az öntözés és trágyázás érvényesülésére, illetve azok hatékonyságára különböző vetésváltási rendszerekben (monokultúra, bikultúra, trikultúra). A vizsgált években a kukorica terméseredményeit az 5–7. táblázat tartalmazza. Az évjárat jellege alapvetően determinálta a kukorica termés-szintjeit, melyet módosított az öntözés, a trágyázás az egyes vetésváltásokban.

5. táblázat. Az öntözés, a trágyázás és a vetésváltás hatása a kukorica termésére száraz évjáratban (Debrecen, 2007, 60 ezer tő/ha)

	Termés (kg/ha)					
	(1)					
	Monokultúra		Bikultúra		Trikkultúra	
	(2)		(3)		(4)	
Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	
(5)	(6)	(5)	(6)	(5)	(6)	
∅	2 685	5 210	6 258	8 413	6 716	8 152
N ₆₀ +PK	3 465	7 105	7 012	9 735	7 998	10 358
N ₁₂₀ +PK	4 316	8 449	7 706	10 970	7 062	10 679
N ₁₈₀ +PK	2 691	8 586	7 096	9 965	6 802	9 880
N ₂₄₀ +PK	2 487	8 007	6 829	9 189	6 630	9 918
SzD _{5%} (7)	762		807		791	

Table 5. Effect of irrigation, fertilisation and crop rotation on maize yield in dry years (Debrecen, 2007, 60 thousand plants per ha). (1) Yield (kg ha⁻¹) (2) Monoculture, (3) Biculture, (4) Triculture, (5) Dry, (6) Irrigated, (7) LSD_{5%}

6. táblázat. Az öntözés, a trágyázás és a vetésváltás hatása a kukorica termésére átlagos csapadékelátottságú évjáratban (Debrecen, 2015, 72,5 ezer tő/ha)

	Termés (kg/ha)					
	(1)					
	Monokultúra		Bikultúra		Trikkultúra	
	(2)		(3)		(4)	
Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	
(5)	(6)	(5)	(6)	(5)	(6)	
∅	4 971	5 230	10 045	11 151	11 213	11 284
N ₆₀ +PK	8 596	8 728	11 435	12 944	12 547	12 996
N ₁₂₀ +PK	10 061	11 449	11 507	13 609	12 806	13 593
N ₁₈₀ +PK	10 529	12 308	11 758	13 933	12 467	13 471
N ₂₄₀ +PK	10 464	12 724	11 121	13 772	12 320	13 250
SzD _{5%} (7)	908		811		990	

Table 6. Effect of irrigation, fertilisation and crop rotation on maize yield in average years (Debrecen, 2015, 72.5 thousand plants per ha). (1) Yield (kg ha⁻¹) (2) Monoculture, (3) Biculture, (4) Triculture, (5) Dry, (6) Irrigated, (7) LSD_{5%}

7. táblázat. Az öntözés, a trágyázás és a vetésváltás hatása a kukorica termésére kedvező vízellátottságú évjáratban (Debrecen, 2019, 72,5 ezer tő/ha)

	Termés (kg/ha)					
	(1)					
	Monokultúra		Bikultúra		Trikultúra	
	(2)		(3)		(4)	
Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	Száraz	Öntözött	
(5)	(6)	(5)	(6)	(5)	(6)	
∅	8 026	8 437	10 858	11 441	12 099	12 576
N ₆₀ +PK	10 341	11 362	12 947	13 133	13 080	13 402
N ₁₂₀ +PK	12 568	12 978	13 292	13 915	13 897	13 703
N ₁₈₀ +PK	12 603	13 204	13 102	12 192	13 517	13 460
N ₂₄₀ +PK	12 771	13 451	12 713	11 684	13 491	13 226
SzD _{5%} (7)	954		907		816	

Table 7. Effect of irrigation, fertilisation and crop rotation on maize yield in favourable years (Debrecen, 2019, 72.5 thousand plants per ha). (1) Yield (kg ha⁻¹) (2) Monoculture, (3) Biculture, (4) Triculture, (5) Dry, (6) Irrigated, (7) LSD_{5%}

A kontroll kezelésekben kapott terméseredmények a kísérlet csernozjom talajának kiváló természetes tápanyagszolgáltató képességét bizonyították, melyet a vízellátás jelentős mértékben limitált. Száraz évjáratban (5. táblázat) a kontroll kezelésben (műtrágya nélkül) a kukorica termése 2685–8413 kg/ha között változott. Különösen alacsony volt a termésszint monokultúrában (2685–5210 kg/ha) a nagy vízfogyasztású kukorica jelentős vízfelvétele miatt. Átlagos évjáratban (6. táblázat) a kontroll termésszint növekedett (4971–11284 kg/ha), míg a kedvező évjáratban (7. táblázat) a kontroll termésszintjének növekedését a monokultúrában elért több termés eredményezte (8026–12576 kg/ha). Vetésváltásban (bi- és trikultúra) a kontroll kezelés kifejezetten nagy termései azt bizonyították, hogy a csernozjom talaj természetes tápanyagszolgáltatása kiváló, megfelelő vízellátás (csapadék, részben öntözés) esetén. A maximális terméseket az évjárat jellege szintén meghatározta, melyet az öntözés – az évjárat vízellátottságától függően – kisebb-nagyobb mértékben módosított (5–7. táblázat). A száraz évben (2007. év) a kukorica maximális termése száraz (nem öntözött) feltételek mellett 4316–7998 kg/ha, öntözött körülmények között 8586–10970 kg/ha között változott vetésváltástól függően, míg az átlagos évjáratban (2015. év) 10061–12806 kg/ha, illetve 12724–13933 kg/ha, a kedvező

ző évjáratban pedig 12771–13897 kg/ha, illetve 13451–13915 kg/ha maximális terméseket kaptunk száraz és öntözött feltételek mellett. Elsősorban az évjárat és a vetésváltás, valamint kisebb mértékben az öntözés is módosította az optimális N+PK adagot a vizsgált években (5–7. táblázat). A monokultúrás termesztés mindhárom évjárat típusban növelte az $N_{opt}+PK$ értéket, míg a vetésváltás csökkentette azt. A javuló vízellátottság – a nagyobb termések miatt – ugyancsak növelte a kukorica optimális trágyaadagját a vizsgálataink szerint. Monokultúrában a száraz 2007. évben az $N_{120}+PK$ (nem öntözött) és az $N_{180}+PK$ (öntözött) kezelésekben kaptuk a termésmaximumot, majd ennél nagyobb műtrágya adagnál – különösen a nem öntözött kezelésekben – jelentős termésdepresszió lépett fel. Ennek következtében a legnagyobb trágya adagnál ($N_{240}+PK$) öntözés nélkül a kukorica termése (2487 kg/ha) kevesebb volt, mint a kontrollban (2685 kg/ha). Monokultúrában átlagos (2015. év) és kedvező (2019. év) évjáratokban a maximális terméseket az $N_{180-240}+PK$, illetve az $N_{240}+PK$ kezelésekben kaptuk. Bi- és trikultúra vetésváltásokban lényegesen kisebb műtrágya adagokkal lehetett a termésmaximumokat elérni, ami a diverzifikált vetésszerkezet fontosságára hívja fel a figyelmet. Bikultúrában száraz évben $N_{120}+PK$, átlagos évben $N_{180}+PK$, kedvező évben $N_{120}+PK$, trikultúrában pedig $N_{60-120}+PK$, $N_{120}+PK$, illetve $N_{120}+PK$ trágyakezelések adták a legnagyobb termést az egyes évjárat típusokban. Az öntözésnek csak kisebb mértékben volt módosító hatása az optimális N+PK adagra.

A vizsgált években kiszámítottuk az egyes vetésváltási rendszerekben a trágyázás és az öntözés hatékonyságát, mely terméstöbbleteket a 8–10. táblázat tartalmazza. A kutatási eredményeink egyértelműen azt bizonyították, hogy nagyon szoros kölcsönhatás érvényesül a kukorica tápanyag- és vízellátásában. A trágyázás termésmenvelő hatását alapvetően meghatározta a növénytermesztési térben rendelkezésre álló víz (évjárat csapadék, öntözés) mindegyik vetésváltási rendszerben. A trágyázás termésmenvelő hatása legkisebb a száraz évjáratban (2007. év) volt (8. táblázat). Ebben az évben a legnagyobb trágyázási terméstöbblet száraz kezelésben 1631 kg/ha, öntözött kezelésben pedig 3376 kg/ha volt monokultúrában. Száraz évjáratban a nem öntözött kezelésben ugyancsak mérsékelt maradt a trágyázás terméstöbblete a vizsgált vetésváltásokban (bi: 1448 kg/ha, tri: 1282 kg/ha) a limitáltan rendelkezésre álló vízkészlet miatt. Az öntözés hatására jelentősen nőtt a trágyázás termésmenvelő hatása (víz×tápanyag interakció) mindegyik vetésváltásban (mono: 3376 kg/ha, bi: 2557 kg/ha, tri: 2527 kg/ha).

8. táblázat. Az öntözés, a vetésváltás és trágyázás terméstöbblete kukoricánál száraz évjáratban (Debrecen, 60 ezer/ha, száraz évjárat, 2007)

		Terméstöbblet (kg/ha)		
		(1)		Öntözés többlete (3)
		Mtr. többlete (2)		
		Száraz (4)	Öntözött (5)	
Monokultúra (6)	∅	0	0	2525
	N ₆₀ +PK	780	1895	3640
	N ₁₂₀ +PK	1631	3239	4133
	N ₁₈₀ +PK	6	3376	5895
	N ₂₄₀ +PK	-198	2797	5520
Bikultúra (7)	∅	0	0	2155
	N ₆₀ +PK	754	1322	2723
	N ₁₂₀ +PK	1448	2557	3264
	N ₁₈₀ +PK	838	1552	2869
	N ₂₄₀ +PK	571	776	2360
Trikkultúra (8)	∅	0	0	1436
	N ₆₀ +PK	1282	2206	2360
	N ₁₂₀ +PK	346	2527	3617
	N ₁₈₀ +PK	86	1728	3078
	N ₂₄₀ +PK	-86	1766	3288

Table 8. Yield surplus from irrigation, crop rotation and fertilisation in dry crop years (Debrecen, 60 thousand plants per ha, dry crop year, 2007). (1) Yield surplus (kg ha⁻¹), (2) Yield surplus from fertilisation, (3) Yield surplus from irrigation, (4) Dry, (5) Irrigated, (6) Monoculture, (7) Biculture, (8) Triculture

Az átlagos és kedvező évjáratokban (9–10. táblázat) monokultúrában (folyamatosan nagy tápanyagigényű kukorica termesztése) kaptuk a legnagyobb műtrágyázási terméstöbbleteket mind a száraz, mind az öntözött kezelésekben. Ez 2015. évben (átlagos) nem öntözött feltételek mellett 5558 kg/ha, öntözött kezelésben 7494 kg/ha trágyázási terméstöbbletet, míg 2019. évben (kedvező) 4745 kg/ha, illetve 5014 kg/ha terméshozadékot jelentett műtrágyázás hatására. A diverzifikált vetésváltásokban szereplő kisebb tápanyagigényű (búza), illetve tápanyagot gyarapító növény (szója) miatti kedvezőbb természetes tápanyagellátottsági feltételek mérsékeltek a műtrágyázás termés-

növelő hatását mind az átlagos, mind a kedvező évben. Ennek megfelelően 2015. évben bikultúrában 1713–2782 kg/ha (száraz-öntözött), trikultúrában 1593–2309 kg/ha, míg 2019. évben (kedvező) 2434–2474 kg/ha, illetve 1798–1127 kg/ha trágyázási terméstöbbleteket kaptunk (9–10. táblázat).

9. táblázat. Az öntözés, a vetésváltás és trágyázás terméstöbblete kukoricánál átlagos évjáratban (Debrecen, 72,5 ezer/ha, átlagos évjárat, 2015)

		Terméstöbblet (kg/ha)		
		(1)		
		Mtr. többlet		Öntözés többlet
		(2)		
		Száraz (4)	Öntözött (5)	(3)
Monokultúra (6)	∅	0	0	259
	N ₆₀ +PK	3625	3498	132
	N ₁₂₀ +PK	5090	6219	1388
	N ₁₈₀ +PK	5558	7078	1779
	N ₂₄₀ +PK	5493	7494	2260
Bikultúra (7)	∅	0	0	1106
	N ₆₀ +PK	1390	1793	1509
	N ₁₂₀ +PK	1462	2458	2102
	N ₁₈₀ +PK	1713	2782	2175
	N ₂₄₀ +PK	1076	2621	2651
Trikultúra (8)	∅	0	0	71
	N ₆₀ +PK	1334	1712	449
	N ₁₂₀ +PK	1593	2309	787
	N ₁₈₀ +PK	1254	2187	1004
	N ₂₄₀ +PK	1107	1966	930

Table 9. Yield surplus from irrigation, crop rotation and fertilisation in average crop years (Debrecen, 72.5 thousand plants per ha, average crop year, 2015). (1) Yield surplus (kg ha⁻¹), (2) Yield surplus from fertilisation, (3) Yield surplus from irrigation, (4) Dry, (5) Irrigated, (6) Monoculture, (7) Biculture, (8) Triculture

Az öntözés termésnövelő hatását alapvetően az évjárat vízellátottsága határozta meg. Az egyes években elért öntözési terméstöbbleteket a 8–10. táblázat tartalmazza. A legnagyobb öntözési terméstöbbletet a kifejezetten száraz, aszályos (átlagosnál kevesebb csapadék ősszel-télen és a vegetációs periódusban,

valamint rendkívül magas hőmérséklet, lásd. 3–4. táblázat) 2007. évben kaptuk, amikor az öntözés maximális terméstöbblete monokultúrában 5895 kg/ha, bikultúrában 2557 kg/ha, trikultúrában 2527 kg/ha volt.

10. táblázat. Az öntözés, a vetésváltás és trágyázás terméstöbblete kukoricánál kedvező évjáratban (Debrecen, 72,5 ezer/ha, kedvező évjárat, 2019)

		Terméstöbblet (kg/ha)		
		(1)		Öntözés többlete (3)
		Mtr. többlete (2)		
		Száraz (4)	Öntözött (5)	
Monokultúra (6)	∅	0	0	411
	N ₆₀ +PK	2315	2925	1021
	N ₁₂₀ +PK	4542	4541	410
	N ₁₈₀ +PK	4577	4767	601
	N ₂₄₀ +PK	4745	5014	680
Bikultúra (7)	∅	0	0	583
	N ₆₀ +PK	2089	1692	186
	N ₁₂₀ +PK	2434	2474	623
	N ₁₈₀ +PK	2244	751	-910
	N ₂₄₀ +PK	1855	243	-1029
Tri kultúra (8)	∅	0	0	477
	N ₆₀ +PK	981	826	322
	N ₁₂₀ +PK	1798	1127	-194
	N ₁₈₀ +PK	1418	884	-57
	N ₂₄₀ +PK	1392	650	-265

Table 10. Yield surplus from irrigation, crop rotation and fertilisation in favourable crop years (Debrecen, 72.5 thousand plants per ha, favourable crop year, 2019). (1) Yield surplus (kg ha⁻¹), (2) Yield surplus from fertilisation, (3) Yield surplus from irrigation, (4) Dry, (5) Irrigated, (6) Monoculture, (7) Biculture, (8) Triculture

A diverzifikált vetésszerkezet tehát kedvezően befolyásolta nemcsak a talaj természetes tápanyagkészletét és tápanyagszolgáltató képességét, hanem a kedvező vízgazdálkodási tulajdonságokkal jellemezhető csernozjom talaj kukorica számára rendelkezésre álló vízkészletét is. Az átlagos 2015. évben (9. táblázat) a kedvezőbb vízellátás miatt lényegesen kisebb öntözési terméstöbble-

teket kaptunk (mono: 2260 kg/ha, bi: 2651 kg/ha, tri: 2309 kg/ha). A kedvező csapadék mennyiséggel és eloszlással jellemezhető 2019. évben (10. táblázat) az öntözésnek minimális termést befolyásoló hatása volt csak (az öntözési terméstöbbletek mono: 1021 kg/ha, bi: 623 kg/ha, tri: 477 kg/ha).

Az 1–3. ábrákon a kukorica vízhasznosítási értékeit (WUE, kg/mm) ábrázoltuk a különböző típusú évjáratokban. A száraz kezelésben a tenyészidőszakban (április-augusztus) lehullott csapadék mennyiségét, az öntözött kezelésben pedig a csapadékösszeg mellett az öntözéssel kijuttatott vízmennyiséget is figyelembe vettük a WUE értékek kiszámolásánál. A kukorica vízhasznosítását az évjárat és a trágyázás jelentősebb, a vetésváltás és az öntözés kisebb mértékben befolyásolta.

1. ábra. A kukorica vízhasznosítása (WUE, kg/mm) eltérő vetésváltási rendszerekben száraz évjáratban (Debrecen, 60 ezer tő/ha, 2007)

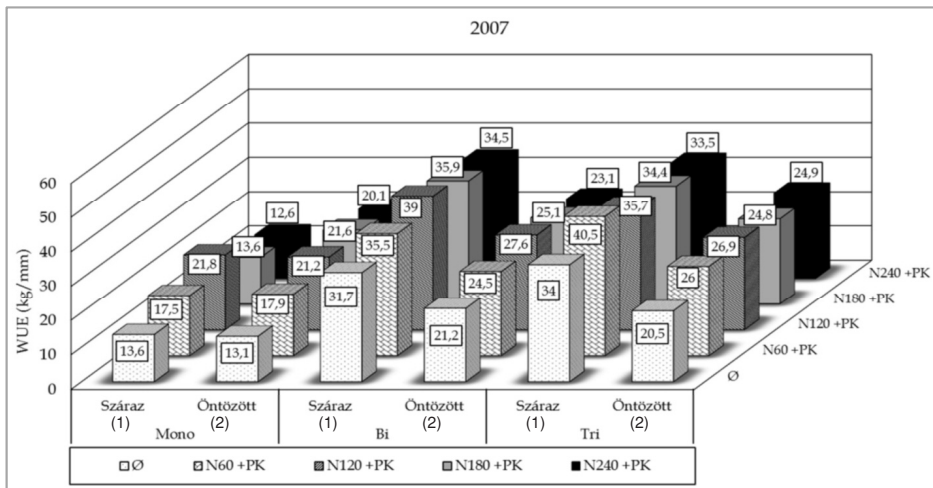


Figure 1. Water utilisation efficiency (WUE, kg per mm) of maize in various crop rotations in dry crop years (Debrecen, 60 plants per ha, 2007). (1) Dry, (2) Irrigated

A legrosszabb vízhasznosítást a száraz évjáratban kaptuk (2007. évben WUE száraz: 12,6–40,5 kg/mm, öntözött: 13,1–27,6 kg/mm), míg az átlagos és kedvező évjáratban minimálisak voltak a különbségek (2015. évben száraz: 19,5–50,2 kg/mm, öntözött: 14,7–39,3 kg/mm, 2019. évben száraz: 25,1–43,5 kg/mm, öntözött: 20,1–33,2 kg/mm).

2. ábra. A kukorica vízhasznosítása (WUE, kg/mm) eltérő vetésváltási rendszerekben átlagos évjáratban (Debrecen, 72,5 ezer tő/ha, 2015)

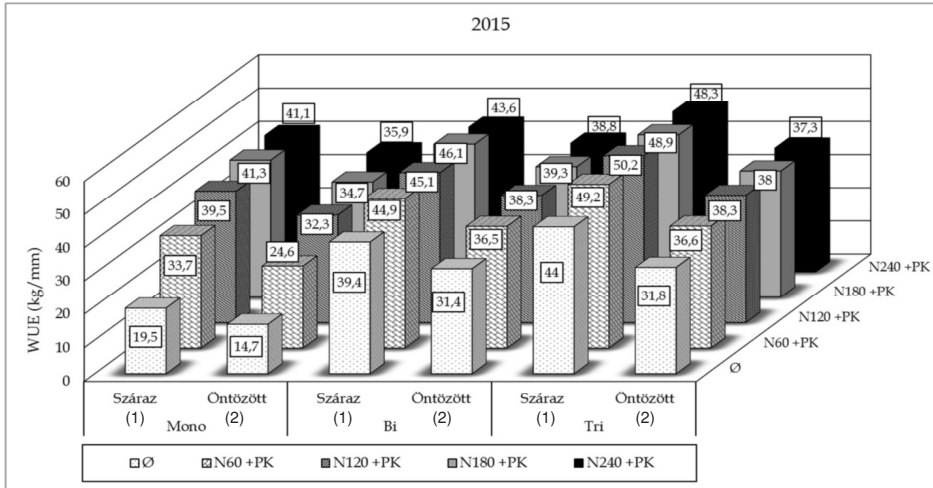


Figure 2. Water utilisation efficiency (WUE, kg per mm) of maize in various crop rotations in average crop years (Debrecen, 72.5 plants per ha, 2015). (1) Dry, (2) Irrigated

3. ábra. A kukorica vízhasznosítása (WUE, kg/mm) eltérő vetésváltási rendszerekben kedvező évjáratban (Debrecen, 72,5 ezer tő/ha, 2019)

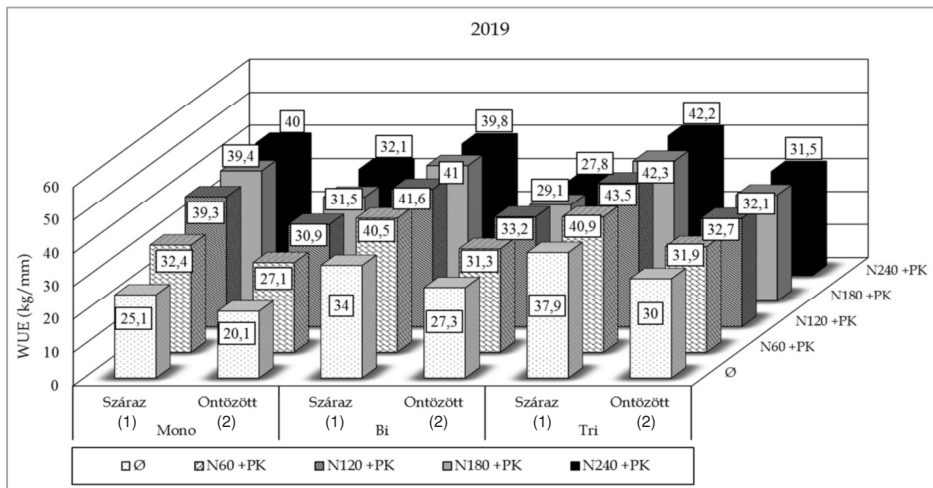


Figure 3. Water utilisation efficiency (WUE, kg per mm) of maize in various crop rotations in favourable crop years (Debrecen, 72.5 plants per ha, 2019). (1) Dry, (2) Irrigated

A trágyázás – az optimális N+PK adagig – javította a vízhasznosítás értékeket (tápanyag×víz kölcsönhatás), míg az öntözés hatására romlottak a WUE értékek. Az öntözés esetén rendelkezésre álló többlet vízmennyiséget tehát a kukorica élettanilag nem tudta hatékonyan hasznosítani. A vetésváltási rendszerek közül a bi- és trikultúrában kedvezőbb WUE értékeket kaptunk (1–3. ábra), mint monokultúrában, különösen a száraz 2007. évben.

Következtetések

A klímaváltozás egyre jelentősebb hatást gyakorol a szántóföldi növényfajok termésére, termésbiztonságára. Különösen így van ez a vízellátásra érzékeny kukoricánál. Tartamkísérletben eltérő vízellátottsági típusú évjáratokban (2007. év = száraz, 2015. év = átlagos, 2019. év = kedvező) vizsgáltuk az agrotechnikai elemek (öntözés, trágyázás, vetésváltás) hatását a kukorica termésére és vízhasznosítására. Kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy a kukorica kontroll és maximális termésszintjét alapvetően meghatározta az évjárat időjárása, amely hatást az agrotechnikai elemek módosítottak. Az időjárási tényezők termést befolyásoló hatását állapították meg *Huzsvai és Nagy* (2005), *Pepó et al.* (2005, 2006), *Geerts et al.* (2010) és *Breton et al.* (2012) korábbi kutatási eredményeik alapján. Száraz évjáratban (2007. év) a kukorica termésmaximuma nem öntözött (száraz) feltételek mellett 4316–7998 kg/ha, öntözés esetén 8586–10970 kg/ha között változott vetésváltástól és trágyázástól függően. Átlagos évjáratban (2015. év) a maximális termések 10 061–12 806 kg/ha (száraz), illetve 12 724–13 933 kg/ha (öntözött), míg kedvező évjáratban (2019. év) 12–771–13897 kg/ha (száraz), illetve 13451–13915 kg/ha (öntözött) közötti intervallumban változtak. *Berzsenyi et al.* (2005), *Pepó et al.* (2007), *Paschalidis et al.* (2015) és *Wang et al.* (2017) vizsgálataihoz hasonlóan a trágyázás jelentős módon befolyásolta a kukorica termését a tartamkísérletünkben. Különösen monokultúrában volt jelentős a műtrágyázás termésmenvelő hatása, melyet az évjárat és öntözés is befolyásolt. Monokultúrában jellemzően az $N_{180-240}+PK$, bikultúrában az $N_{120-180}+PK$, trikultúrában pedig az $N_{60-120}+PK$ műtrágya kezelése bizonyultak optimálisnak. Az öntözés termésmenvelő hatása az évjáratától függően változott *Ruzsányi* (1990), *Pepó et al.* (2008), valamint *Quemada és Gabriel* (2016) kutatási eredményeihez hasonlóan. A száraz 2007. évben kaptuk a legnagyobb öntözési terméstöbbletet vetésváltástól függően (2527–5895 kg/ha). Átlagos évben (2015. év) lényegesen kisebb volt az öntö-

zés hatása (1004–2651 kg/ha), míg a kedvező vízellátású évben (2019. év) ez a terméstartalom minimálisra csökkent (477–1021 kg/ha). Hasonlóan *Clark et al.* (1999), *Markovic et al.* (2017) és *Pepó* (2020) kutatási eredményeihez a tápanyag- és vízellátás speciális interaktív hatását lehetett megállapítani a tartamkísérletünkben. Ezt a kölcsönhatást az évjárat jellege erőteljes módon módosította. Amíg a száraz 2007. évben a trágyázás maximális terméstartalma nem öntözött kezelésben 1282–1631 kg/ha volt (vetésváltástól függően), addig az öntözött kezelésben 2527–3376 kg/ha trágyázási terméstartományságot kaptunk. Az átlagos 2015. évben ezek az értékek száraz kezelésben 1593–5558 kg/ha, öntözött feltételek mellett 2309–7494 kg/ha voltak, míg a kedvező 2019. évben 1798–4745 kg/ha (száraz), illetve 1127–5014 kg/ha (öntözött) közötti intervallumban változtak. Vizsgálati eredményeink szerint a kukorica vízhasznosítását az évjárat vízellátottsága és a trágyázás pozitív módon befolyásolta. A vetésváltás hatása mérsékelt volt. Tartamkísérletünkben az öntözés hatására romlottak a WUE értékek mindhárom vizsgált évjáratban. Nem öntözött feltételek mellett a WUE értékek 12,6–40,5 kg/mm (száraz év), 19,5–50,2 kg/mm (átlagos év), 25,1–43,5 kg/mm (kedvező év) között változtak, míg öntözött körülmények között 13,1–27,6 kg/mm, 14,7–39,3 kg/mm, 20,1–33,2 kg/mm értékeket lehetett megállapítani.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció elkészítését a GINOP-2.2.1-15-2016-00001 számú projekt, és 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

- Berzsenyi Z. –Lap D. Q. –Micskei Gy. –Takács N.:* 2005. Kukoricaszár és N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és termésstabilitására monokultúrás tartamkísérletben. Növénytermelés. 54. 5–6: 433–447.
- Biazin, B. –Stroosnijder, L.:* 2012. To tie or not to tie ridges for water conservation in Rift Valley drylands of Ethiopia. Soil Tillage Res. 124: 83–94.

- Bocz E.*: 1995. A fenntartható fejlődés időszerű kérdései. 37. Georgikon Napok. A fenntartható fejlődés időszerű kérdései a mezőgazdaságban. Keszthely. 1-20.
- Breton, O. M.-Morris, V. K. S.-Méndez, V. E.*: 2012. Cultivation of maize landraces by small-scale shade coffee farmers in western El Salvador. *Agric. Syst.* 111: 63-74.
- Clark, M. S.-Horwath, W. R.-Shenman, C.-Scow, K. M.-Lantnid, W. T.-Ferrise, H.*: 1999. Nitrogen, weeds and water as yield-limiting factors in conventional, low-input, and organic tomato systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 73. 3: 257-270.
- Geerts, S.-Raes, D.*: 2009. Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas. *Agr. Water Manag.* 96: 1275-1284.
- Geerts, S.-Raes, D.-García, M.*: 2010. Using AquaCrop to derive deficit irrigation schedules. *Agr. Water Manag.* 98: 213-216.
- Gonzalez-Dugo, V.-Durand, J. L.-Gastal, F.*: 2010. Water deficit and nitrogen nutrition of crops: A review. *Agronomy for Sustainable Development.* 30: 529-544.
- Huzsvai, L.-Nagy, J.*: 2005. Effect of weather on maize yields and the efficiency of fertilisation. *Acta Agronomica Hungarica.* 53. 1: 31-39.
- Josipović, M.-Kovačević, V.-Šoštarić, J.-Plavšić, H.-Marković, M.*: 2012. Irrigation and nitrogen fertilisation needs for maize in Osijek-Baranja County. *Növénytermelés.* 61. 2: 45-48.
- Kirda, C.-Topcu, S.-Kaman, H.-Ulger, A. C.-Yazici, A.-Cetin, M.-Derici, M. R.*: 2005. Grain yield response and N-fertiliser recovery of maize under deficit irrigation. *Field Crops Research.* 93. 2-3: 132-141.
- Kovačević, V.-Šoštarić, J.-Josipović, M.-Iljkić, D.-Marković, M.*: 2009. Precipitation and temperature regime impacts on maize yields in Eastern Croatia. *Journal of Agricultural Sciences.* 41: 49-53.
- Marković, M.-Josipović, M.-Šoštarić, J.-Jambrović, A.-Brkić, A.*: 2017. Response of Maize (*Zea mays* L.) Grain Yield and Yield Components to Irrigation and Nitrogen Fertilisation. *Journal of Central European Agriculture.* 18. 1: 55-72.
- Olesen, J. E.-Trnka, M.-Kersebaum, K. C.-Skjelvåg, A. O.-Seguin, B.-Peltonen-Sainio, P.-Rossig, F.-Kozryah, J.-Micalei, F.*: 2011. Impacts and adaptation of European crop production systems to climate change. *European Journal of Agronomy.* 34. 2: 96-112.
- Paschalidis, X.-Ioannou, Z.-Mouroutoglou, X.-Koriki, A.-Kavvadias, V.-Baruchas, P.-Chouliaras, I.-Sotiropoulos, S.*: 2015. Effect of fertilisation and irrigation on plant mass accumulation and maize production (*Zea mays*). *Int. J. Waste Resources.* 5: 173.
- Pepó P.-Vad A.-Berényi S.*: 2005. Agrotechnikai tényezők hatása a kukorica termésére monokultúrás termesztésben. *Növénytermelés.* 54. 4: 317-326.
- Pepó, P.-Vad, A.-Berényi, S.*: 2006. Effect of some agrotechnical elements on the yield of maize on chernozem soil. *Cereal Res. Commun.* 34. 1: 621-624.

- Pepó P.*: 2007. A klímaátalakulás kedvezőtlen hatásai és az alkalmazkodás természet-technológiai elemei a szántóföldi növénytermesztésben. *Agrofórum*. 18. 11/M: 17–26.
- Pepó, P.–Zsombik, L.–Vad, A.–Berényi, S.–Dóka L.*: 2007. Agroecological and management factors with impact on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotation. *Analele Universitatii Oradea. Facultatea de Protectia Mediului*. 13: 181–187.
- Pepó, P.–Vad, A.–Berényi, S.*: 2008. Effects of irrigation on yields of maize (*Zea mays* L.) in different crop rotation. *Cereal Res. Commun.* 36. 3: 735–738.
- Pepó P.–Csajbók J.*: 2014. Agrotechnikai tényezők szerepe a kukorica (*Zea mays* L.) termesztésben. *Növénytermelés*. 63. 2: 45–68.
- Pepó P.*: 2020. Termesztéstechnológiai tényezők kölcsönhatásainak vizsgálata őszi búza és kukorica tartamkísérletekben. *Növénytermelés*. 69. 1: 53–72.
- Quemada, M.–Gabriel, J. L.*: 2016. Approaches for increasing nitrogen and water use efficiency simultaneously. *Global Food Security*. 9: 29–35.
- Ruzsányi L.*: 1990. A növények elővetemény-hatásának értékelése vízháztartási szempontból. *Növénytermelés*. 40. 1: 71–77.
- Ruzsányi L.*: 1992. A főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. Akadémiai doktori értekezés tézisei. Debrecen.
- Sárvári M.*: 2006. A vetésváltás és a tőszám hatása a kukoricalibridek termésére [In: *Pepó és Pacuta (szerk.) A racionális vetésforgók meghatározása a fenntartható növénytermesztésben. Szlovák-magyar projekt kiadvány.*] 25–45.
- Teixeira, E. I.–George, M.–Herreman, T.–Brown, H.–Fletcher, A.–Chakwizira, E.–Maley, S.–Noble, A.*: 2014. The impact of water and nitrogen limitation on maize biomass and resource-use efficiencies for radiation, water and nitrogen. *Field Crops Research*. 168: 109–118.
- Vico, G.–Porporato, A.*: 2011. From rainfed agriculture to stressavoidance irrigation: I. A generalized irrigation scheme with stochastic soil moisture. *Adv. Water Resour.* 34: 263–271.
- Wang, Y.–Janz, B.–Engedal, T.–Neergaard de, A.*: 2017. Effect of irrigation regimes and nitrogen rates on water use efficiency and nitrogen uptake in maize. *Agricultural Water Management*. 179: 271–276.
- Wolf, J.–Van Diepen, C. A.*: 1995. Effects of climate change on grain maize yield potential in the European Community. *Climatic Change*. 29: 299–331.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

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

Dr. Vad Attila – Török Tamás
Debreceni Egyetem AKIT
Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

A szántás és a lazítás hatása a CO₂ emisszióra kukorica talajon

¹TÖRŐ ÁGNES – ²RAGÁN PÉTER – ³HARSÁNYI ENDRE

¹Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet, Debrecen

²NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet, Gödöllő

³Szent István Egyetem, Gödöllő

Összefoglalás

A művelések hatására jelentős szén-dioxid kibocsátást mértünk a tenyészidőszak végi két méréshez (09. 23., 10. 21.) képest. A talajművelés hatása a talaj szén-dioxid kibocsátására az alkalmazott módszerrel jól mérhető, a kapott eredményekkel a változás jól érzékeltethető. A kapott adatokat elemezve a lazított talaj kibocsátási adatai szignifikánsan – 6,85-ször – magasabbak voltak, mint a művelést megelőzően. A szántott talajon mért emissziós értékek 1,42-szer voltak nagyobbak a műveletlen talajon mérthez képest.

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség adatok mérése segíti a talaj szén-dioxid kibocsátás okainak pontosabb meghatározását, amely a talajművelés mellett ugyancsak fontos indikátora az értéknek.

A vizsgálatunk alkalmasnak bizonyult a talaj szén-dioxid kibocsátásának, a betakarítástól az őszi talajmunkákig tartó folyamat bemutatására. A megbízhatóbb eredmények eléréséhez azonban további vizsgálatok szükségesek. Igazolást nyert a szén-dioxid kibocsátás emelkedése frissen művelt talajokon, esetünkben a lazítás esetén.

Kulcsszavak: talajművelés, szén-dioxid kibocsátás, talajhőmérséklet, talajnedvesség tartalom

The effect of ploughing and ripping on the carbon dioxide emission in a maize stand

¹Á. TÖRŐ – ²P. RAGÁN – ³E. HARSÁNYI

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

²National Agricultural Research and Innovation Centre, Institute of Agricultural Engineering, Gödöllő

³Szent István University, Gödöllő

Summary

The role of soil in climate change has not been studied for a long time, but it has gradually become an important research area since the 1980s, depending on the increasing extent of global climate change. Agriculture contributes significantly to the growth of carbon dioxide in the atmosphere and is responsible for 20% of growth. Gases – mainly carbon dioxide – released from the decomposition of organic matter in the soil, are emitted in increasing quantities as the soil temperature increases. Therefore, global climate change also affects the carbon cycle of the biosphere by increasing soil temperatures. As soil respiration increases, warming may increase. The correlation between soil cultivation and carbon dioxide emissions shows that emission increases after cultivation:

The purpose of our experiment was to examine carbon dioxide emissions in the case of different tillage methods. Our experiments were carried out at the Látókép Experimental Station of the Institutes for Agricultural Research and Educational Farm of the University of Debrecen, where we observed the difference between ploughed and ripping tillage methods in autumn. My experiments were carried out with a Testo 535 type measuring device, which is a CO₂ concentration measuring instrument that operates on the basis of infrared absorption. Differences were analysed with the RStudio statistical system. Analytical values were measured in ppm, which was converted to g m⁻² h⁻¹.

We examined the increment of carbon dioxide emission of the soil after autumn cultivation, and we experienced the difference between winter ploughing and ripping. The obtained results showed the increase of carbon dioxide emission after cultivation, as well as how the different types of cultivation influenced the emission.

Key words: tillage methods, carbon dioxide emission, soil moisture, soil temperature

Влияние вспашки и рыхления на эмиссию CO₂ на кукурузной почве

¹А. ТЁРЁ – ²П. РАГАН – ³Э. ХАРШАНИ

¹Дебреценский Университет Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и Экологического Менеджмента, Институт Землепользования, Технический и Развития Территорий, Debrecen

²NAIK Институт Сельскохозяйственной Механизации, Gödöllő

³Университет им. Св.Иштвана, Gödöllő

Резюме

Под влиянием обработок измерили значительный выброс углекислого газа по сравнению с двумя измерениями в конце вегетационного периода (09. 23., 10. 21.). Влияние обработки почвы на выход углекислого газа почвы с применённым методом хорошо измеряемо, с полученными результатами можно хорошо ощутить изменения. При анализе полученных данных видно, что данные выхода разрыхленной почвы были значительно выше – в 6,85 раза, чем перед обработкой. Измеренные на вспаханной почве эмиссионные показатели в 1,42 раза были больше по сравнению с необработанной почвой.

Измерение температуры почвы и данных влажности почвы помогает определить причины выброса углекислого газа почвы, что вместе с обработкой почвы также важный индикатор этого показателя.

Наше исследование оказалось пригодным для показа процесса от уборки до осенних почвенных работ и выпуска почвой углекислого газа. Однако для получения более надёжных результатов необходимы дальнейшие исследования. Получило подтверждение увеличение выпуска углекислого газа на свежесобранной почве, в нашем случае при рыхлении.

Ключевые слова: обработка почвы, выпуск углекислого газа, температура почвы, содержание влажности почвы

Bevezetés

Az elkövetkező évtizedekben fokozódik a mezőgazdasági termékek iránti kereslet, mivel a föld lakosságának száma előreláthatólag 30%-kal emelkedik 2050-re. A megfelelő mennyiségű és minőségű élelmiszer alapanyag előállítását nehezíti a termőterületek leromlása, a víz és fosszilis energia készletek csökkenése és a föld klímájának változása (FAO 2014). A talaj éghajlat módosító szerepe sokáig nem képezte vizsgálat tárgyát, ellenben az 1980-as évektől – a globális klímaváltozás fokozódó mértékétől függően – fontos kutatási területté vált (Robock et al. 1998, Wank és Eltahir 2000). A légkörbe került szén-dioxid növekedéséből a mezőgazdaság jelentősen kiveszi a részét, szám szerint a növekedés 20%-áért felelős (Gyuricza 2004). A talaj szerves anyagainak bomlásából, a talajlégzés során felszabaduló gázok – főként a szén-dioxid – növekvő mennyiségben távozik a talaj hőmérsékletének növekedésével (Schlesinger 1977). A globális klímaváltozás tehát – a talaj hőmérsékletének emelkedésével – a bioszféra szén körforgalmára is hatást gyakorol, a talajlégzés növekedésével tovább fokozódhat a felmelegedés (Kaye és Hart 1998).

Mivel a talaj állapota nem csak hazánkban, hanem világviszonylatban is romlik, így olyan megoldásokat kell keressünk a talaj életének és szerkezetének javítására, amely hosszú távú megoldást kínál. Külföldön nagyobb hajlandósággal és kísérleteket megcélzó pozitív attitűddel folynak olyan természeti, művelési módszerek egyes gazdaságokban, amelyek alapvetően no-till vagy zero tillage rendszerben művelik a talajt.

Jolánkat és Birkás (2005) szerint, a mai kor egyik legnagyobb kihívása a globális klíma megváltozása, amely alapvetően befolyásolja a mezőgazdaság eredményességét. Az üvegházhatású gázok koncentrációjának emelkedésével megváltozik bolygónk klímája. A szén-dioxid az üvegházhatású gázok (GHG) közül az egyik legfontosabbként van számon tartva, mivel szoros kapcsolatban van a globális klímaváltozással. Az iparosodás előtti időktől kezdve a szén-dioxid kibocsátás 40%-kal emelkedett (IPCC 2013). Azóta a szélsőséges időjárási körülmények és az egyre melegebb hőmérséklet sürgető megoldást kíván az emberiségtől, amely csak globálisan képzelhető el.

A talaj szén-dioxid kibocsátás mértékét számos tényező befolyásolja, ilyenek a talaj hőmérséklete, nedvességtartalma, valamint a talaj minősége. A kibocsátás a szervesanyag csökkenéséből származik (Goudrianun és Unsworth 1990, Fogarassy et al. 2008), mértékét nagyban befolyásolja a talajművelés

módja. A talaj nagymértékű bolygatása, a fizikai paramétereinek megváltoztatásával járó műveletek hatására csökken a talajban található szén mennyisége. A talaj védelme érdekében elsődleges, hogy olyan művelési módszert válasszunk, amely a legkisebb mértékben módosítja a talaj szerkezetét (*Birkás és Gyuricza* 2004). Az intenzív művelés 30–50%-os csökkenést idéz elő a talaj szénkészleteiben (*Cole* 1996). A talajban lévő szén-dioxid mennyisége meghaladhatja a 6%-ot, az élővilága ehhez van hozzászokva, ugyanakkor az emelkedő CO₂ koncentrációt csak bizonyos szintig képesek tolerálni (*Kátai* 2008).

A talajművelés és a szén-dioxid kibocsátása közti összefüggésekről megállapítható, hogy a talajművelés után nő az emisszió: a direkt vetés fölött 14,8%-kal, a 16–20 cm-es szántásban 45,8%-kal, a 22–25 cm-es szántás pedig a duplájára emelte meg a szén-dioxid kibocsátást. A legmagasabb értéket a lazítás (35–40 cm) és szántás (16–20 cm), valamint a lazítás (35–40 cm) és tárcsázás (22–25 cm) jelentette; az első esetben 90,5%-kal, míg a másodikban 119,8%-kal emelkedett meg a szén-dioxid kibocsátása (*Gyuricza* 2000).

A talajlégzésből származó kibocsátás vizsgálatára számos módszer született (*Anderson* 1982, *Parkin* 1996, *Farkas et al.* 2011), de egyelőre egységes módszert még nem alkottak, amelyet vélhetően a validációs rendszer hiánya okoz (*Tóth et al.* 2011). A szántóföld CO₂ emissziójának vizsgálatára a leggyakrabban használt a kamrás mérési módszer, amely lezárja a talajfelszínt és a talajból távozó CO₂ koncentráció változását méri időegység alatt (*Singh és Gupta* 1977, *Fang és Moncrieff* 1998, *Angell és Svejcar* 1999). A két leginkább elterjedt kamra méret nagy térfogatú (3,25 m³), általában hasáb alakúak, amelyek légkeveréssel ellátottak (*Reicosky* 1990), valamint a kisebb méretű, légkeverés nélküli kamrák (*Zsembeli et al.* 2005, *Parkin és Venterea* 2010).

Anyag és módszer

Kísérletünk célja az volt, hogy megvizsgáljuk a kísérleti területen a talajművelési módok (szántás, lazítás) között szeptemberben a betakarítás előtt (09. 23.), és októberben a talajmunkákat megelőzően (10. 21.) és a talajmunkák után közvetlenül (lazítás 10. 22., szántás 10. 28.) a CO₂ kibocsátási értékek változását.

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén végeztük. Az általunk vizsgált két művelési mód 28–30 cm mélyen történt, a szántás ötféjes ekével, a lazítás hétkéses lazítóval.

A feltevésünk az volt, hogy a művelést követően a talajból kiáramló széndioxid mennyisége jelentősen megnövekszik a bolygatás következtében. Ebből kiindulva vizsgáltuk meg a kibocsátás mértékét a szántott és a lazított területeken.

A kísérleti táblán belül külön vizsgáltuk az öntözés hatását is, amelyre megfelelő lehetőséget biztosított az, hogy a tábla egyik része öntözött a másik része pedig az öntözetlen kezelésű volt. Az *1. képen* látható a CO₂ emisszió mérésének módszere a kukorica betakarítását követő időszakban.

1. kép. A talaj CO₂ emissziójának vizsgálata a TESTO 535-ös mérőműszerrel
(Látókép, 2019. 09. 21.)



Forrás: saját fotó

Picture 1. Measurement with the TESTO 535 gas analyser in the experimental plot (Látókép, 2019. 09. 21.). Source: own picture

Vizsgálatainkat a TESTO 535 típusú mérőműszerrel végeztük el, amely infravörös abszorpciós elven működő, CO₂ koncentráció mérő műszer. A talajra helyezett, belső ventilációval ellátott, egyedi kialakítású mérőkamrák 11,8×25 centiméteresek (átmérő×magasság), egyenként 2734 cm³ térfogatúak voltak. A talajon egymás mellé helyezett öt hengerben (*1–2. kép*) mértük egymás után

a kezdeti szén-dioxid koncentráció- majd az öt perc inkubációs idő elteltével megemelkedett szén-dioxid koncentráció kibocsátási értékét. A hengereket a talajba 5 cm mélyen süllyesztettük, ügyelve arra, hogy a legkevésbé legyen bolygatva az adott pontokon, így a természeteshez közeli talajállapot és mikroklíma mellett végezhetjük a mérést. A mérések végeztével, a mintavételi hengereket megtisztítottuk és szellőztettük, hogy minél hamarabb készen álljanak az újbóli mérésre.

2. kép. A két különböző művelési mód vizsgálata a talajmunkákat követően
(balra lazított, jobbra szántott terület)
(Látókép, 2019. 10. 22., 2019. 10. 28.)



Forrás: saját fotó

Picture 2. Examining the two different tillage methods (subsoiling and winter ploughing) (Látókép, 2019. 10. 22., 2019. 10. 28.). Source: own picture

A vizsgálat során a szén-dioxid koncentrációt ppm-ben (parts per million) méri a gáz analizátor, amelyet a következő képlet segítségével számítottuk át $\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ -ban (Szöllősi et al. 2009):

$$F=d*(V/A)*(C_2-C_1)/t*273/(273+T)$$

ahol: F=CO₂-emisszió (g m⁻² h⁻¹), d=a CO₂ térfogattömege (1,96 kg/m³), V=a henger talajszint feletti térfogata (m³), A=a mérési felület (m²), C₁=a kezdeti CO₂-koncentráció (m³/m³), C₂=az inkubáció utáni CO₂-koncentráció (m³/m³), t=inkubációs idő (h), T=a levegő hőmérséklete (°C).

A statisztikai vizsgálatot R statisztikai környezetben RStudio grafikus felülettel, "gplots", "car" és "agricolae" csomagok felhasználásával végeztük. A grafikonokat Ms Excel 2010 programmal készítettük el. A mezőgazdaságban előforduló sok biológiai és környezeti változó miatt az elsőfajú hibát 5%-nak (alpha=0,05) választottuk, így csökkentve a másodfajú hiba elkövetésének valószínűségét. Ezáltal nagyobb eséllyel lehet különbségeket kimutatni a kezelések hatásai között. Lineáris regresszió analízist végeztünk a mért talajhőmérséklet és a talajnedvesség kapcsolatának vizsgálatára, amely befolyásolja a talaj szén-dioxid kibocsátására.

Eredmények

Az ismételt mérési modell alapján a mérési időpont, valamint az öntözés és mérési időpont együttesen is befolyásolták a talaj CO₂ emisszióját (1. táblázat).

1. táblázat. A mérési időpont és az öntözés×mérési időpont hatása a CO₂ kibocsátásra

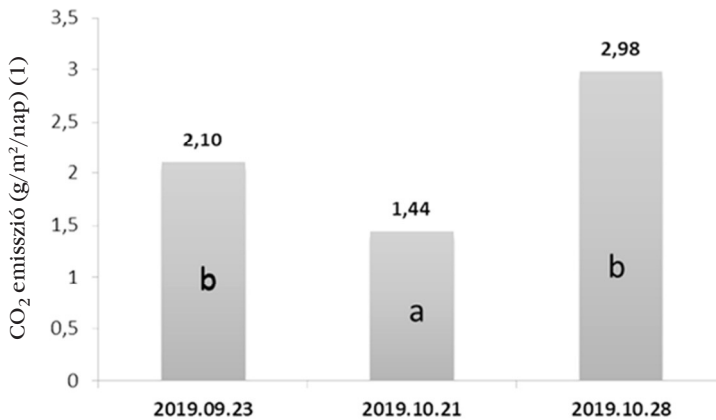
	Szabadság- fok (1)	Eltérés négyzet- összege (2)	Variancia (3)	F érték (4)	Szignifikancia (5)
Dátum (6)	2	11,961	5,980	7,632	0,0047**
Öntözés×dátum (7)	2	6,594	3,297	4,208	0,0340*
Maradék (8)	16	12,537	0,784		

Megjegyzés: szignifikancia jelölése - 0,001**, 0,01*

Table 1. The effect of measurement time and the effect of irrigation and the measurement time on CO₂ emission. (1) Degrees of freedom, (2) Sum of squares, (3) Variance, (4) F value, (5) Significance, (6) Measurement date, (7) Irrigation × measurement date, (8) Residue, Note: indication of significance: 0.001**, 0.01*

A kísérleti időpontokat megvizsgálva egyértelműen látszik, hogy a talajmunka elvégzése után a szántott változatban mértük a legnagyobb szén-dioxid emissziót. Október 28-án $2,98 \text{ g/m}^2/\text{nap}$, míg a másik két mérési időpontban, szeptember 23-án ez $2,1 \text{ g/m}^2/\text{nap}$, közvetlenül a betakarítás után pedig $1,44 \text{ g/m}^2/\text{nap}$ volt (1. ábra).

1. ábra. A talaj CO_2 kibocsátásának nagysága a szántott kezelésben a kukorica betakarítása előtt, után, valamint a szántás elvégzését követően (Látókép, 2019)



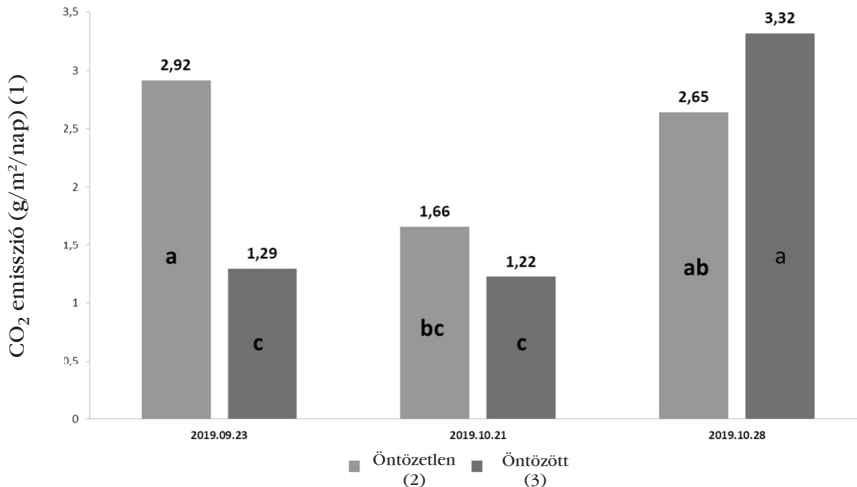
Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt oszlopok között nincs szignifikáns különbség.

Figure 1. The level of carbon dioxide emission of the soil in the ploughed area before and after the harvesting, and after the cultivation (Látókép, 2019). (1) CO_2 emission ($\text{g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$), Note: no significant difference between columns marked with the same letter.

A talajmunkákat követő (10. 28.) mérés szignifikánsan eltért a betakarítás előtti (09. 23.) és a művelések előtt (10. 21) mért értékektől. A 09. 23-án és 10. 21-én kapott adatok nem különböztek egymástól szignifikánsan.

A mért adatok alátámasztják a feltevésünket, mivel a szignifikánsan ($\text{Pr}(>F)$) legnagyobb értékeket a szántás után kaptuk, október 28-án, az öntözött talajon. A legalacsonyabb értékeket - amelyek szignifikánsan nem tértek el egymástól ($1,29 \text{ g/m}^2/\text{nap}$ és $1,22 \text{ g/m}^2/\text{nap}$) - az öntözött talajokon kaptuk a betakarítás előtti utolsó és a betakarítás utáni mérések idején (2. ábra). Az október 28-i mérés idején az öntözött és az öntözetlen talajokon mért értékek nem tértek el egymástól szignifikánsan, valamint a 09. 23-i öntözetlen terület eredményétől sem.

2. ábra. A mérési időpont és az öntözés hatása a talaj szén-dioxid emissziójára szántott talajon (Látókép, 2019)



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt oszlopok között nincs szignifikáns különbség.

Figure 2. Effect of the measurement date and the irrigation on the emission in the winter ploughing area (Látókép, 2019). (1) CO₂ emission (g m⁻² d⁻¹), (2) Non-irrigated, (3) Irrigated. Note: no significant difference between columns marked with the same letter.

A lazítás szignifikánsan növelte a talaj CO₂ emisszióját. A kapott eredmények alapján a művelést követően 14,32 g/m²/nap értéket mértünk, a talajművelés előtt 2,09 g/m²/nap értéket (3. ábra). A lazítás után meghatározott érték 6,85-ször magasabb volt a bolygatás előtt mértnél.

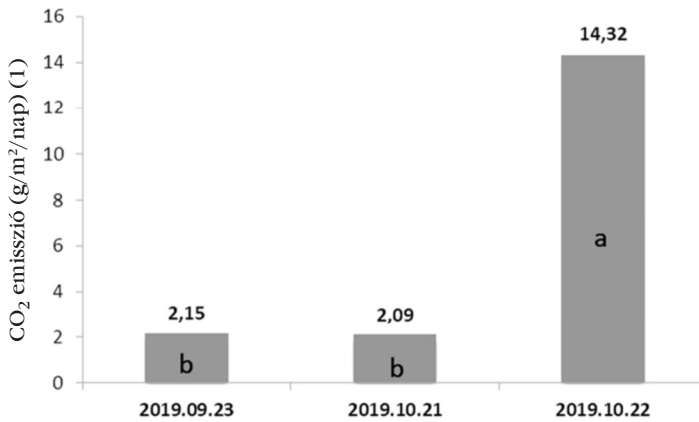
A betakarítás előtti (2,15 g/m²/nap) és a művelés előtti (2,09 g/m²/nap) adatok szignifikánsan nem különböznek egymástól.

A mérések közt változott a talajhőmérséklet és a talaj nedvessége is. Szeptemberben a talaj átlagos hőmérséklete a szántott talajon 14–15 °C, októberben 12–13°C körül alakult, a művelést követően pedig 10–11 °C-ra csökkent. A szántott talaj nedvessége a betakarítás előtt az öntözött kezelésben 22,5 tf%, az öntözetlen kezelésben 20,4 tf%, a betakarítás után 16 és 25,4 tf%, míg a művelést követően 8,3 és 14,6 tf% volt (4. ábra).

A talaj hőmérséklete a lazított talajon 14–15 °C volt az első mérés idején, majd a második mérés idején 12–13 °C, míg a művelést követően 14–15 °C. A talaj nedvességtartalma betakarítás előtt 20,41 tf% volt az öntözött kezelésben, az öntözetlen kezelésben 16,71 tf%, majd betakarítás után az öntözött keze-

lésben 20,6 tf%-ra, öntözetlen kezelésben 23,6 tf%-ra változott. A művelést követően 9,94 tf% volt öntözött kezelésben, ugyanakkor 9,78 tf%-ra csökkent öntözetlen kezelésben (4. ábra).

3. ábra. A mérési időpont hatása a szén-dioxid emissziójára lazított művelési változatban (Látókép, 2019)



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt oszlopok között nincs szignifikáns különbség.

Figure 3. Effect of the measurement date on the carbon dioxide emission in the ripped area (Látókép, 2019). (I) CO₂ emission (g m⁻² d⁻¹), Note: no significant difference between columns marked with the same letter.

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség $R^2=0,4272$, azaz 42,72%-ban befolyásolta a CO₂ emissziót.

Következtetések

Mérési eredményeink alapján a műveléseket követően szignifikánsan nőtt a szántott és lazított talajok szén-dioxid koncentrációja. Lazítás után a betakarítást követő és a művelés előtti mérések értékéhez képest átlagosan 6,85-szeresére növekedett a talaj CO₂ emissziója. Szántott talajon kisebb mértékű emisszió volt mérhető, bár friss műveléskor növekedés volt észlelhető. Az öntözés hatása az igény szerinti öntözés meglétéig befolyásolta a mért eredményeket. A szeptemberi betakarítás előtti és a talajművelést követően az öntözetlen kezelésben mért kibocsátási értékek szignifikánsan nem térnek el egymástól. Különbséget az öntözött és öntözetlen talajokon állapítottunk meg. A be-

takarítás előtt az öntözetlen kezelés értékei voltak nagyobbak, míg a művelést követően az öntözött kezelés emissziós értékei.

4. ábra. A művelés és az öntözés hatása a talajnedvesség (A) és a talajhőmérséklet (B) alakulására (Látókép, 2019)

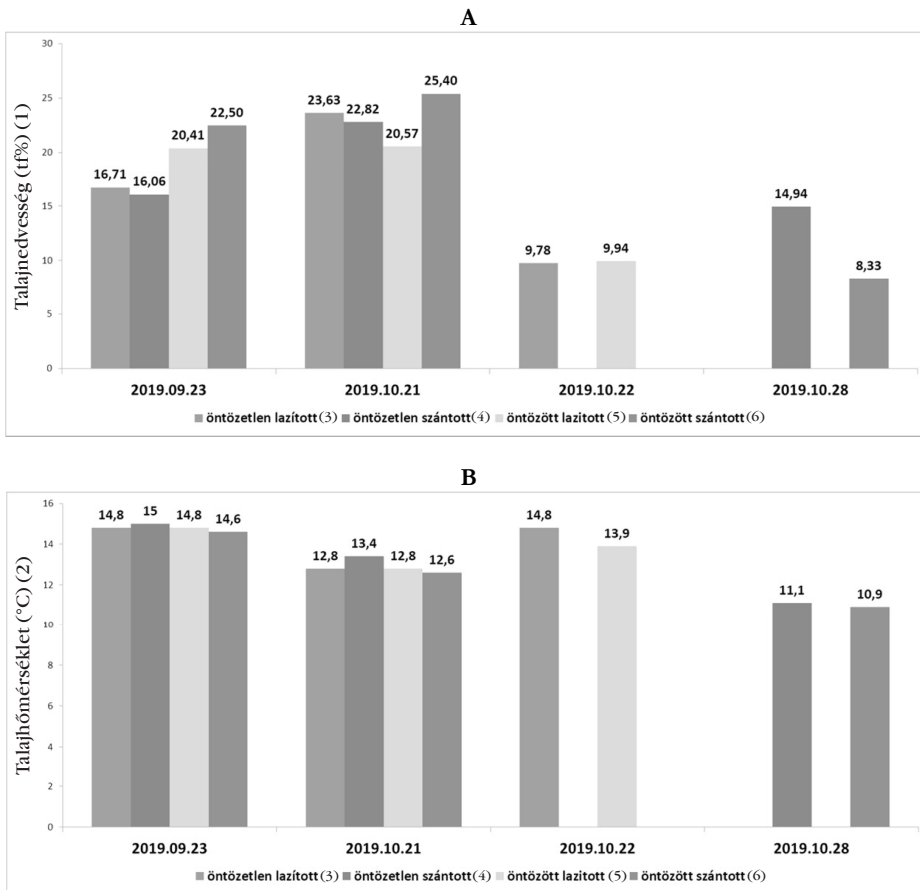


Figure 4. Effect of the soil cultivation and irrigation on soil moisture (A) and soil temperature (B) (Látókép, 2019). (1) Soil moisture (%V/V), Soil moisture (°C), (3) Non-irrigated ripped soil, (4) Non-irrigated ploughed soil, (5) Irrigated ripped soil, (6) Irrigated ploughed soil

A talajhőmérséklet és a talajnedvesség együtt 42,72%-ban volt befolyásoló hatással a kapott eredményekre. A talaj hőmérséklete az évszaknak megfelelő-

en változott, a betakarítást követően az értékek fokozatosan csökkentek. A lazított talaj hőmérséklete művelés után megegyezett a betakarítás előtt mért értékkel.

Köszönetnyilvánítás

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-20-4 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti, Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

Irodalom

- Anderson, J. P. E.*: 1982. Soil Respiration. [In: Page et al. (eds.) Methods of soil analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties.] Madison. Wisconsin. USA. American Society of Agronomy. Soil Science Society of America,
- Angell, R.-Svejcar, T.*: 1999. A Chamber Design for Measuring Net CO₂ Exchange on Rangeland. Journal of Range Management Allen Press. 52. 1: 27–31.
- Birkás M.-Gyuricza Cs.*: 2004. A talajhasználat és a klimatikus hatások kapcsolata. [In: Birkás M.-Gyuricza Cs. (szerk.) Talajhasználat, műveléshatás, talajnedvesség.] Quality Press Nyomda & Kiadó Kft.
- Cole, C. V.*: 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1995. Agricultural options for mitigation of greenhouse gas emission IPCC Working Group 11. Chapter 23. Washington. D. C.
- Fang, C.-Moncrieff, J. B.*: 1998. An Open-Top Chamber for Measuring Soil Respiration and the Influence of Pressure Difference on CO₂ Efflux Measurement. Functional Ecology, British Ecological Society. 12. 2: 319–325.
- FAO*: 2014. Building a common vision for sustainable food and agriculture. Rome.
- Farkas, Cs.-Giorgio, A.-Balogh, J.-Barcza, Z.-Birkás, M.-Czóbel, S.-Davis, K. J.-Führer, E.-Gelybó, G.-Grosz, B.-Kljun, N.-Koós, S.-Machon, A.-Marjanovic, H.-Nagy, Z.-Peressotti, A.-Pintér, K.-Tóth, E.-Horváth, L.*: 2011. Methodologies. [In: Haszpra, L. (ed.) Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective.] Dordrecht: Springer Netherlands.
- Fogarassy, Cs.-Lukács, Á.-Böröcz, M.*: 2008. Basic structure of CO₂ emission management practice in agricultural land use. Cereal Res. Commun. 36: 327–330.
- Goudrian, J.-Unsworth, M. H.*: 1990. Agriculture, Fertilizers and the Environment. [In: Laegreid, M. et al. eds. 1999.] Cabi Publishing. University Press. Cambridge. UK.
- Gyuricza Cs.*: 2000. Az értékmegőrző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. Doktori PhD értekezés. Gödöllő.

- Gyuricza Cs.*: 2004. A talajművelés hatása a talaj termékenységre és a biológiai tevékenységre. *Agro Napló*. 9: 35.
- IPCC*: 2013. Summary for Policymakers. [In: Stocker, T. E. et al. (eds.) *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*] Cambridge University Press. Cambridge. United Kingdom and New York, N.Y. U.S.A. http://www.climate2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (letöltve: 2019. 10. 21.)
- Jolánkai, M.–Birkás, M.*: 2005. Carbon Sequestration of Crops Influenced by Nitrogen Fertilization. *Proceedings. 43rd Croatian and 3rd International Symposium on Agriculture. Opatija. Croatia.* 540–543.
- Kátai J.*: 2008. Talajtan, talajökológia. Az Észak-alföldi Régióért Kht. Debrecen. 148–163.
- Kaye, J. P.–Hart, S. C.*: 1998. Restoration and canopy-type effects soil respiration in a Ponderosa Pine Bunchgrass ecosystem. *Soil Science Society of America. J.* 62: 1062–1072.
- Parkin, T. B.*: 1996. Field And Laboratory Tests Of Soil Respiration. [In: Doran, J. W.–Franco-Vizcaíno, E. (eds.) *Methods For Assessing Soil Quality.*] Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin. 231–245.
- Parkin, T. B.–Venterea, R. T.*: 2010. Chamber-Based Trace Gas Flux Measurements. *Sampling Protocols. USDA-ARS. Fort Collins. CO.* 1–39.
- Reicosky, D. C.*: 1990. Canopy gas exchange in the field: Closed chambers. *Remote Sensing Reviews.* 5: 163–177.
- Robockab, A.–Schlosserac, C. A.–Vinnikova, K. Y.–Speranskayad, N. A.–Entina, J. K.–Qiu, S.*: 1998. Evaluation of the AMIP soil moisture simulations. *Global Planet Change.* 19: 181–208.
- Schlesinger, W. H.*: 1977. Carbon balance in terrestrial detritus. *Annual Review of Ecology and Systematics.* 8: 51–81.
- Singh, J. S.–Gupta, S. R.*: 1977. Plant Decomposition and Soil Respiration in Terrestrial Ecosystems. *Botanical Review.* 43: 449–528.
- Szöllősi N.–Kovács Gy.–Zsembeli J.*: 2009. A talaj szén-dioxid emissziója árpa tarlón. *Acta Agraria Debreceniensis.* 35: 95–102.
- Tóth, E.–Barcza, Z.–Birkás, M.–Gelybó, G.–Zsembeli, J.–Bottlik, L.–Davis, K. J.–Haszpra, L.–Kern, A.–Kljun, N.–Koós, S.–Kovács, G.–Stingli, A.–Farkas, C.*: 2011. Arable lands. [In: Haszpra, L. (szerk.) *Atmospheric Greenhouse Gases: The Hungarian Perspective.*] Dordrecht: Springer Netherlands.
- Wang, G.–Elthair, L. A. B.*: 2000. Ecosystem dynamics and the Sahel drought. *Geophys. Res. Lett.* 27: 795–798.
- Zsembeli, J.–Tuba, G.–Juhász, C.–Nagy, I.*: 2005. CO₂-measurements in a soil tillage experiment. *Cereal Res. Commun.* 33: 137–140.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Törő Ágnes
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
agnes.toro91@gmail.com

Dr. Ragán Péter
NAIK Mezőgazdasági Gépesítési Intézet
Gödöllő
Tessedik Sámuel u. 4.
H-2100

Dr. Harsányi Endre
Szent István Egyetem
Gödöllő
Páter Károly u. 1.
H-2100



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
