

NÖVÉNYTERMELÉS

71. kötet | 3-4. szám | 2022. szeptember-december

Crop
Production

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



70

1952-2022



Precíziós növénytermesztés
Magyarországon

Talajszkenner adatok alapján
lehatárolt menedzsment zónák
NDVI és termés
adatainak vizsgálata

A kukorica hibridek fenológiai-
jájának, szemtermésének,
hő- és vízhasznosítási
hatékonyságának alakulása
az éghajlati tényezők
hatására

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 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
E-mail: novenytermeles@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 71 (2022) 3-4
Printed in Hungary

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

71. kötet, 3-4. szám, 2022. szeptember-december

Főszerkesztő/Editor-in-Chief:

JÁNOS NAGY

Szerkesztőbizottság/Editorial Board:

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

AGRÁRMINISZTERIUM

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

A nyomást és kötést a Zemplén-Vektor Nyomda végezte.

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

ISSN 0546-8191

TARTALOM

<i>Nagy János</i> : Beköszöntő	7
<i>Nagy István</i> : 70 éves a <i>Növénytermelés</i> c. folyóirat	9
<i>Árendás Tamás – Bónis Péter – Sugár Eszter – Fodor Nándor – Vida Gyula</i> : Az őszi búza produktivitása vetésidő × inszekticid × genotípus kísérletekben	11
<i>Berzsényi Zoltán</i> : Agroökológiai megközelítések a növénytermesztési kutatásokban	23
<i>Csajbók József – Kutasy Erika</i> : Őszi árpa fajták termése, termésstabilitása és minősége a Hajdúsági löszháton	41
<i>Gombos Béla – Nagy János</i> : A Debreceni Egyetem agrár kampuszán folyó növénytermesztési kísérletek meteorológiai viszonyainak elemzése 2021-ben	55
<i>Izsáki Zoltán</i> : Az őszi árpa (<i>Hordeum vulgare</i> L.) tápláltsági állapotát jellemző tápelekoncentráció és tápelemarány határértékek a diagnosztikai célú növényanalízishez	71
<i>Jolánkai Márton – Kassai Mária Katalin – Kende Zoltán – Tarnawa Ákos</i> : Aszály és növénytermesztés - a szélsőséges időjárási hatások áttekintése	87
<i>Kith Károly – Zelenák Annabella – Nagy János</i> : Levéltrágyázás hatása a kukorica (<i>Zea mays</i> L.) termésére eltérő évjáratokban (2019–2020–2021)	97
<i>Nagy János – Búvár Géza</i> : Precíziós növénytermesztés Magyarországon	105
<i>Nyéki Anikó – Nagy János</i> : A kukorica öntözése, technológiai háttere	119
<i>Nyéki Anikó – Zelenák Annabella – Szabó Atala – Nagy János</i> : A CERES-Maize modell terméshozam szimulációja a látóképi kísérlet adatbázisával	133
<i>Pauk János – Nagy Éva – Lantos Csaba</i> : Vízmegvonás és az őszi búza (<i>Triticum aestivum</i> L.) válasza	147
<i>Pepó Péter</i> : A 40 éves debreceni tartamkísérletek néhány fontosabb eredménye	159
<i>Rátonyi Tamás – Ujjpál Ilona – Bácskai István – Harsányi Endre – Ragán Péter</i> : Talajszkenner adatok alapján lehatárolt menedzsment zónák NDVI és termés adatainak vizsgálata	183
<i>Sípos Ágnes – Szőke Csaba – Spitzkó Tamás – Kovács Anett – Csepregi-Heilmann Eszter – Pintér János – Berzy Tamás – Marton L. Csaba</i> : Öko- és hagyományos technológiával termesztett silókukorica hozamainak összehasonlítása	199

<i>Spitkó Tamás – Szőke Csaba – Sipos Ágnes – Kovács Anett – Csepregi-Heilmann Eszter – Pintér János – Berzy Tamás – Marton L. Csaba:</i> A kukorica eltérő fenofázisában mért NDVI értékei és terméskomponensei közötti összefüggés vizsgálata	211
<i>Széles Adrienn – Horváth Éva – Zagyi Péter – Ibtissem Balaout – Simon Károly:</i> A kukorica hibridek fenológiájának, szemtermésének, hő- és vízhasznosítási hatékonyságának alakulása az éghajlati tényezők hatására	225
<i>Tóth Gabriella – HENZSEL István – Györgyi Gyuláné – Sárvári Mihály:</i> Különböző vetési paraméterek hatása a fehérvirágú csillagfűrt (<i>Lupinus albus</i> L.) magtermés mennyiségére 2018-ban	241
<i>Varga Balázs – Veisz Ottó:</i> Kalászosok vízigényének és vízhasznosító képességének meghatározása tudományos szabadföldi liziméterekben	263
KÖNYVISMERTETÉS	
<i>Izsáki Zoltán – Kruppa József:</i> Szántóföldi növények vetőmagtermesztése	275

CONTENTS

<i>Nagy, J.:</i> Introduction	7
<i>Nagy, I.:</i> Növénytermelés is 70 years old	9
<i>Árendás, T. – Bónis, P. – Sugár, E. – Fodor, N. – Vida, Gy.:</i> Productivity of winter wheat in sowing date × insecticide × genotype in experiments	11
<i>Berzsenyi, Z.:</i> Agroecological approaches in crop production research	23
<i>Csajbók, J. – Kutasy, E.:</i> Yields, yield stability and quality of winter barley varieties on the Hajdúság loess plateau	41
<i>Gombos, B. – Nagy, J.:</i> Analysis of the meteorological conditions of crop experiments on the agricultural campus of the University of Debrecen in 2021	55
<i>Izsáki, Z.:</i> Nutrient concentration and nutrient element ratio limits for nutritional status of winter barley (<i>Hordeum vulgare</i> L.) for diagnostic plant analysis	71
<i>Jolánkai, M. – Kassai, M. K. – Kende, Z. – Tarnawa, Á.:</i> Drought and crop production – an overview on the impacts of climate extremities	87
<i>Kith, K. – Zelenák, A. – Nagy, J.:</i> The effect of foliar fertilisation maize yield (<i>Zea mays</i> L.) in various crop years (2019–2020–2021)	97
<i>Nagy, J. – Búvár, G.:</i> Precision crop production in Hungary	105
<i>Nyéki, A. – Nagy, J.:</i> Irrigation and technological background of maize	119

<i>Nyéki, A. – Zelenák, A. – Szabó, A. – Nagy, J.:</i> Simulation of the CERES-Maize model yields using the experiment database of the Látókép Experiment Site	133
<i>Pauk, J. – Nagy, É. – Lantos, Cs.:</i> Water-withdrawal and the response of winter wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	147
<i>Pepó, P.:</i> Some important results of the 40 year-old long-term experiments in Debrecen	159
<i>Rátonyi, T. – Ujjál, I. – Bácskai, I. – Harsányi, E. – Ragán P.:</i> Examination of NDVI and yield data of management zones delimited by soil scanner data	183
<i>Sipos, Á. – Szőke, Cs. – Spítkó, T. – Kovács, A. – Csepregi-Heilmann, E. – Pintér, J. – Berzy, T. – Marton, L. Cs.:</i> Yield comparison of maize grown for silage – organic and conventional	199
<i>Spítkó, T. – Szőke, Cs. – Sipos, Á. – Kovács, A. – Csepregi-Heilmann, E. – Pintér, J. – Berzy, T. – Marton, L. Cs.:</i> Analysis of the correlation between NDVI values of maize at different phenophases and yield components	211
<i>Széles, A. – Horváth, É. – Zagyi, P. – Balaout, I. – Simon, K.:</i> Phenology and grain yield of maize hybrids, heat and water use efficiency as a result of climatic factors	225
<i>Tóth, G. – Henzsel, I. – Györgyi, Gy. – Sárvári, M.:</i> The effect of sowing parameters on the yield of white lupin (<i>Lupinus albus</i> L.) in 2018	241
<i>Varga, B. – Veisz, O.:</i> Determination of water demand and water-use efficiency of ear cereals in scientific field lysimeters	263
 <i>BOOK REVIEW</i>	
<i>Izsáki, Z. – Kruppa, J.:</i> Sowing seed production of field crops	275

BEKÖSZÖNTŐ

A 70 éves Növénytermelés c. tudományos lap első száma 1952 augusztusában jelent meg, főszerkesztője Rajki Sándor volt. A lapalapítás célja a hazai növénytermesztés, növénynevelés, növénygenetika, növényélettan, agrobotanika kutatási eredményeinek bemutatása a hazai szakemberek publikálási lehetőségének biztosítása. Ez a növénytudományok egyetlen magyar nyelvű lapja. Az első cikket az akkori földművelésügyi miniszter, Erdei Ferenc írta: *„Ez a folyóirat, amely most megindul, újabb fegyver a kezünkben, hogy mind világosabbá és kézzelfoghatóbbá tegye mezőgazdasági tudományunknak ezeket a feladatait és segítse azon az úton, hogy a tudomány egyetlen és igazi feladatát gyorsan és sikeresen megoldja.”*

1971-ben Bócsa Iván akadémikus lett a lap főszerkesztője, és 35 éves munkássága alatt színvonalas, nemzetközileg is elismert tudományos lapot szerkesztett. A közlemények angol nyelvű összefoglalóval is kiegészültek.

A Növénytermelés az Agrárminisztérium tudományos lapja. 2007-ben a Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centrumában új szerkesztőség alakult. 2009. január 12-én az MTA Agrártudományi Osztály Növénytermesztési Bizottsága kinyilvánította folyamatos tudományos támogatását. A Növénytermelés *„Tanulmányok”* rovatában lektorált tudományos elemzések kapnak helyet. A *„Szemle”* rovatban található a könyvismertetések és a konferencia beszámolók. Az agrár-felsőoktatás, az agrár-kutatóintézetek és a Magyar Tudományos Akadémia oktatóinak, illetve kutatóinak lehetőséget biztosítunk tudományos eredményeik bemutatására és népszerűsítésére, ezáltal a vállalati kapcsolatok erősítésére. Külön oldalt szentelünk az egyetemeken működő Doktori Iskolák szellemi műhelyeiben elért tudományos eredményeknek. A kiemelkedő teljesítményt nyújtó PhD hallgatóknak biztosítjuk kutatási eredményeik közzétételét. A *„Portré”* rovatban a tudományterület emblematisztikus alakjait, neves és meghatározó személyiségeit mutatjuk be.

Az Internet rohamos elterjedése a tudományos életet sem hagyta érintetlenül, a lap elektronikus formában is megjelenik. A tudományos eredmények bemutatásához szükséges idő így jelentősen csökkent, a legújabb ismeretek néhány nap alatt az olvasók elé kerülhetnek.

A neves évforduló alkalmával köszönjük Nagy István miniszter úrnak megtisztelő, kiemelt támogatását, amely lehetővé teszi, hogy a tudományos eredmények magyar nyelven, egyedülálló módon szolgálják a magyar mezőgazdaságot.

Reméljük, hogy közös erőfeszítéseink, segítve az agrártudományt és az agrárgazdaságot sikerre vezetnek.

Mindenkinek eredményes kutatómunkát kívánunk és ajánljuk, hogy vegyék fel a böngésző könyvjelzői közé a www.agrarlapok.hu, www.novenytermeles.hu oldalt, és rendszeresen látogassanak el hozzánk.

Nagy János
főszerkesztő

70 éves a *Növénytermelés* c. folyóirat

A *Növénytermelés* című tudományos folyóirat idén ünnepli fennállásának 70. évfordulóját. Azaz hét évtizede hűen szolgálja a magyar agrárium ügyét. A növénytudományok egyetlen magyar nyelvű lapjaként, 70 éve biztosítja az agrár-felsőoktatásban és az agrárkutatásban dolgozó professzorok által elért, lektorált tudományos eredmények publikálását, azok gyakorlati hasznosítását. Szakmai sikerét bizonyítja, hogy az Agrárminisztérium lapjaként, a Magyar Tudományos Akadémia elismert jegyzékében szerepel.

Kettős évfordulót ünnepelhetünk az idei évben. 2007-ben, azaz pontosan 15 éve, hogy a Debreceni Egyetemen megalakult a *Növénytermelés* új szerkesztősége. Azon az egyetemen, melynek küldetése az elmúlt több mint száz éves fennállása óta nem változott: az egyetemes tudás megőrzése és gazdagítása, országunk gazdasági és szellemi felemelkedésének támogatása. Az elmúlt évtizedekben pedig bebizonyosodott, hogy ez az intézmény sikeres, a mindenkori kihívásokra eredményes válaszokat találó intézmény. Egy olyan tudásközpont, ahol a korszerű és minőségi felsőoktatás egyszerre járul hozzá a társadalom általános tudásszintjének emeléséhez és a kiváló, nemzetközileg is elismert szakemberek képzéséhez.

Nekünk pedig kiváló kutatókra és szakemberekre van szükségünk, akik munkájukkal, kutatásaikkal, észrevételeikkel járulnak hozzá a magyar mezőgazdaság versenyképességének növeléséhez. Ennek érdekében, kiemelten támogatjuk a *Növénytermelés* c. folyóirat működését. Mindezt tesszük a nyitottság és az érdemi együttműködés jegyében, mert hiszem, hogy csak közös erővel alapozhatjuk meg a modern, 21. századi magyar mezőgazdaság felépítését. Éppen ezért köszönettel tartozunk a szerkesztők munkájáért, akik az elmúlt 15 évben összesen 418 publikációt, azaz 357 tudományos cikket, 43 szemlét és 18 könyvismertetőt jelentetettek meg, 8400 oldalon.

Büszkén tekintünk a *Növénytermelés* című folyóirat elmúlt hetven évére, és ezúton is tisztelettel gratulálok a szerkesztőségnek az elmúlt évtizedekben vállalt kiemelkedő és elismert szolgálatához, s a következő hét évtized minden publikációjához, minden lapszámához sok erőt, jó egészséget és sikerekben gazdag éveket kívánok.

Dr. Nagy István
agrárminiszter

Az őszi búza produktivitása vetésidő × inszekticid × genotípus kísérletekben

ÁRENDÁS TAMÁS – BÓNIS PÉTER – SUGÁR ESZTER –
FODOR NÁNDOR – VIDA GYULA
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet, ELKH, Martonvásár

Összefoglalás

Őszi búzával beállított háromtényezős kísérletben vizsgáltuk a vetésidő, a kezdeti fejlődéskor végzett rovarölő szeres védelem és a genotípus hatásait. A Martonvásáron, csernozjom talajon, 2019–2022 között végzett mérések eredményei szerint a sokévesnél szárazabb vegetációs periódusokban a korai, szeptemberi vetés minden évben kisebb terméssel, nagyobb termesztési kockázattal járt, mint az októberi. A termésdepresszió a korai vetésű állományokban meleg, száraz ősszel inszekticides kezeléssel bizonyíthatóan és jelentős mértékben mérsékelhető volt. A fajtareakciók azt is igazolták, hogy a nem optimális időzítéssel összefüggő terméseszkökenés egyéb növénytermesztési faktorok figyelembevételével, így a genotípusok maximális produktivásának és vetésidő toleranciájának együttes ismeretében is befolyásolható.

Kulcsszavak: őszi búza, vetésidő, fajta, rovarölő szeres védelem, léghőmérséklet

Productivity of winter wheat in sowing date × insecticide × genotype in experiments

T. ÁRENDÁS – P. BÓNIS – E. SUGÁR – N. FODOR – GY. VIDA

Agricultural Research Centre

Agricultural Institute, ELKH, Martonvásár

Summary

In a three-factor experiment with winter wheat, we investigated the effects of sowing date, insecticide treatment at early development and genotype. The results of the measurements conducted in Martonvásár, on chernozem soil, between 2019 and 2022, showed that in growing seasons drier than the multiple year average, early sowing in September was associated with lower yields and higher yield risk than sowing in October in all years. Yield depression in early sown stands could be demonstrably and significantly reduced by insecticide treatment in warm, dry autumns. The varietal responses also demonstrated that yield loss associated with suboptimal timing could be influenced by considering other agronomic factors, such as the combined knowledge of maximum productivity and sowing time tolerance of genotypes.

Keywords: winter wheat, sowing date, variety, insecticide treatment, air temperature

Bevezetés

Napjaink egyik leggyakoribb hívószava a globális klímaváltozás, s ennek egyik legnagyobb hatásfelülete a népesség élelmiszerellátását biztosító agrárium. A hőmérséklet és a csapadékviszonyok változása, a szélsőséges meteorológiai események gyakoriságának növekedése a növénytermesztés stabilitására, a termelékenység, a hatékonyság növelésére egyre inkább korlátozó hatással van (Ding et al. 2015). Egyik világszinten is meghatározó élelmiszer alapanyag- és abraktakarmány-növényünk, a búza termesztése során a kedvezőtlen hatások mérséklésében a precíziós műszaki megoldások, a hely-

és időspecifikus technológiák mellett továbbra is újabb tartalékokat adnak a kezünkbe a nemesítés által biztosított genetikai előrehaladás és az adaptáció agronómiai oldalról ki nem aknázott ismeretei (*Parent et al. 2018*), mint például a vetés időpontjának fajtaspecifikus optimalizálása (*Árendás et al. 2003*) és egyéb agrotechnikai tényezőkkel való harmonizálása.

A klímához, a szélsőséges meteorológiai hatásokhoz való alkalmazkodásnak, a termesztéstechnológia finomhangolásának tehát egyik eszköze az őszi búza vetési időpontjának optimalizálása is, figyelembe véve, hogy a változó hőmérséklet a búza tenyészidejének hosszára is hatást gyakorol (*Tao 2014, Tian et al. 2014*).

A búzavetés időpontjának változtatása a kultúrnövények mellett a gyomnövények fejlődésére és a termőhely kompetitív viszonyaira is hatással van (*Spink et al. 2000, Bónis et al. 2010*).

A korai vetésekkel támogatott hosszabb aktív tenyészidő elméletileg lehetőséget nyit a potenciálisan nagyobb termés elérésére. A konvencionálisnál korábban, csökkentett csíraszámmal vetett állományok esetében a terméskompenzáció főként a produktív hajtásszám és a kalásonkénti szemszám növekedésével, és kisebb mértékben az egyes szemek tömegének növekedésével történik (*Whaley et al. 2000*). Ha e kompenzációs mechanizmusok bármelyike gátolt – például az optimálisnál későbbi vetés miatt –, akkor a terméscsökkenés mérséklésére olyan agrotechnikai beavatkozásokat kell alkalmazni, amelyekkel növelhető az állomány produktív denzitása.

Fontos kísérletesen is pontosítani, hogy a különböző vetési időpontok milyen mértékben befolyásolhatják a növény produktivitását, azaz mennyiben tompíthatók a klímaváltozás kedvezőtlen hatásai. *Erdélyi (2008)* szimulációs elemzése szerint október 20-hoz mérten a két héttel korábbi vetés a jövőben több termést eredményezhet, de nagyobb ingadozással.

A gabonafélék korai vetése melegebb időszakokban a levéltetvek nagyobb aktivitása révén növelheti a vírusátvitelt, a kártevők okozta kockázatot (*Dennett 2000*). Az előrejelzések szerint a melegebb éghajlat a vírusok, valamint gazdanövényeik és vektoraik tér- és időbeli eloszlásának globális eltolódását fogja okozni (*Amari et al. 2021*). Mindez azért is fokozhatja az őszi búza korai vetésének magyarországi kockázatát, mivel számos korábbi vizsgálat bizonyította azt is, hogy a fertőzött növényekben a hőmérséklet növekedésével a vírusok szaporodási sebessége is nő egy optimumpontig.

Anyag és módszer

A háromtényezős kísérleteket az ATK Mezőgazdasági Intézet László pusztai kísérleti terén (47.29933; 18.81300) állítottuk be a 2018/19, 2019/20, 2020/21 és 2021/22 években. A kétszeresen osztott parcellás elrendezésű, négyismétléses kísérletekben a főparcellákon kéthetes intervallumokban négy vetésidő (A. korai – IX. 3.d.; B. optimális – X. 1.d.; C. késői – X. 3.d.; D. igen késői – XI. 1.d.) hatását vizsgáltuk. Az alparcellákon két növényvédelmi kezelést (1. kezeletlen kontroll; 2. őszi, vírusvektorok elleni inszekticid-kezelés) állítottunk be. Az al-alparcellákon öt martonvásári nemesítésű, államilag minősített őszi búza fajtát (1. Mv Nádor; 2. Mv Nemere; 3. Mv Ménrót; 4. Mv Mente; 5. Mv Káplár) vetettük el.

Az agyagos vályog fizikai féleségű erdőmaradványos csernozjom talaj szántott rétegének bővített talajvizsgálati eredményeit az 1. táblázat ismerteti. A MÉM NAK (1979) rendszerét figyelembe véve a talaj, a humusztartalom alapján becsült N-ellátottság szerint a „jó”, P- és K-ellátottsága szerint egységesen az „igen jó”. kategóriába tartozott. Az EDTA-oldható mennyiségek tekintetében a kísérletek talaja réz- és cinkhiányos volt.

1. táblázat. A kísérletek művelt rétegének (0–30 cm) főbb talajfizikai és -kémiai jellemzői Martonvásáron (erdőmaradványos csernozjom talaj)

pH _{KCl}	K _A (1)	Só	CaCO ₃	Humusz	P ₂ O ₅	K ₂ O	Cu	Zn	Mn	SO ₄ -S
		(2)	(3)							
		(m/m%)			(mg/kg)					
7,27	46	0,04	7,0	3,16	769	531	1,57	1,5	39	15,1

Table 1. Main soil physical and chemical characteristics of the cultivated layer (0–30 cm) of the experiments in Martonvásár (forest residue chernozem soil). (1) Arany's plasticity index, (2) Salt, (3) Humus

Az őszi búza előveteménye az egymást követő években napraforgó, őszi búza, kukorica, napraforgó volt. A kelés és kezdeti fejlődés időszakai, valamint a teljes vegetációs periódusok főbb időjárás paramétereit a 2. táblázat mutatja be. A 30 éves (1981–2010) martonvásári adatok átlagához viszonyítva az adott négy év során az őszi búza minden tenyészidőszakában (X–VI.) melegebb volt és kevesebb csapadék hullott. Az évek sorrendjében a vízhiány

relatív mértéke 17, 12, 31 és 31% volt. A fejlődés kezdeti szakaszát (IX–XI.) tekintve csapadékos, meleg idő volt 2018-ban. Az ősz 2019-ben volt a legmelegebb, átlagos vízellátottsággal, míg 2021-ben a szeptember-november hónapok aszálya a rovarpopulációk fennmaradásának, táplálkozásának nem kedvező hűvös idővel, a sokévesnél 0,8 °C-kal alacsonyabb átlaghőmérséklettel párosult.

2. táblázat. *Meteorológiai jellemzők a vizsgált időszakok meghatározó periódusaiban (Martonvásár, 2018–2022)*

Tenyészeitő (1)	Periódus (2)	Csapadék (mm) (3)	*Δ csapadék (mm) (3)	Hőmérséklet (°C) (4)	*Δ hőmérséklet (°C) (4)
2018/19	IX–XI.	175,0	32,0	11,9	1,0
	X–VI.	349,6	-69,4	8,8	1,5
2019/20	IX–XI.	140,5	-2,5	12,3	1,4
	X–VI.	369,6	-49,4	8,9	1,6
2020/21	IX–XI.	138,0	-5,0	11,0	0,1
	X–VI.	290,1	-128,9	8,0	0,7
2021/22	IX–XI.	116,4	-26,6	10,1	-0,8
	X–VI.	288,6	-130,4	8,2	0,9

Megjegyzés: *eltérés a 30 éves (1981–2010) átlagtól.

Table 2. Meteorological characteristics during the key periods of the surveyed periods (Martonvásár, 2018–2022). (1) Growing season, (2) Period, (3) Precipitation (mm), (4) Temperature (°C), Note: *deviation from the 30-year average (1981–2010).

Az eredmények értékelése során a szemtermések mennyisége alapján varianciaanalízissel jellemeztük a kezeléshatásokat, továbbá regresszió analízissel vizsgáltuk a kezdeti fejlődés különböző szakaszainak (a vetéstől számított 20., 40. és 60. napig, illetve XI. 30-ig) napi alsó- és felsőkumulációs, valamint átlaghőmérsékleti hőösszegei (*Dorka* 2005), és a termések, mint kvantitatív változók kapcsolatát (*Sváb* 1981).

Eredmények

A szemertermés mennyiségét tekintve a három vizsgált faktor eltérő intenzitást és variációs szélességet reprezentáló kezelései átlagában a másodfokú polinomiális egyenletek alapján illesztett függvények görbéi a vetésidő-hatások jelentős évjáratí változékonyságát mutatták (1. ábra). Az igen szoros, minden évben P=1%-os valószínűségi szinten igazolt, megbízható illesztések szerint a szemertermés maximuma 2022-ben volt a legkisebb (5,81 t/ha), a 2021. évben a legnagyobb (12,05 t/ha). A produktívitas széles varianciája a maximumokhoz tartozó vetésidő optimumokat (évek szerint: okt. 19.; okt. 21.; okt. 18.; nov. 3.) tekintve is jelentős (15 nap) volt.

1. ábra. Az őszi búza vetésidő-reakciója (t/ha)
(Martonvásár, 2019–2022)

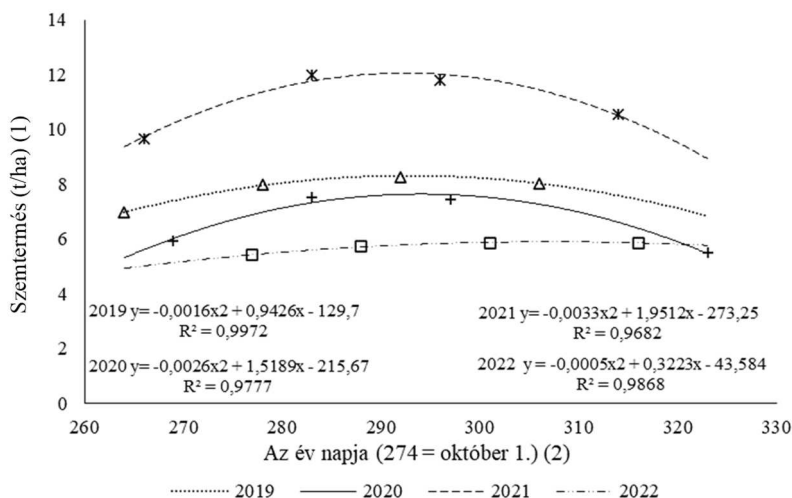


Figure 1. Sowing date response of winter wheat (t ha⁻¹) (Martonvásár, 2019–2022). (1) Grain yield (t ha⁻¹), (2) Day of the year (274 = 1st October)

Az egyes faktorok hatásai szerint (3. táblázat) a legnagyobb produktívitas – a vizsgált évek sorrendjében – a C, B, B, D vetésidő eredményezte. Az egyes éveket növekvő sorrendben tekintve nem volt igazolható eltérés a maximumokkal összehasonlítva a D, a C, a C és a B, C vetésidőkben sem. A

legkorábbi (A) vetéssel három évben igazolhatóan legkevesebb volt a szemtermés mennyisége, míg 2020-ban az igen késői (D) vetés csökkentette leginkább, szignifikánsan a produktivitást.

Az őszi inszekticides növényvédelem az esetek 50%-ában (2019, 2020) bizonyíthatóan termésmenvelő hatású volt. A két legmagasabb átlaghőmérsékletű őszt követően a szemtermés-többlet ezekben a kezelésekből 0,63 és 0,26 t/ha volt.

3. táblázat. *A vetésidő, a növényvédelem és a genotípus hatása az őszi búza szemtermésére háromtényezős kísérletben (Martonvásár, 2019–2022)*

Kezelés (1)	Szemtermés (t/ha) (2)			
	2019	2020	2021	2022
A vetésidő hatása a növényvédelem és a fajta átlagában (3)				
A*	6,96c	5,94b	9,65c	5,41b
B	7,99b	7,52a	11,99a	5,73a
C	8,27a	7,45a	11,78a	5,85a
D	8,04ab	5,50c	10,56b	5,86a
A növényvédelem hatása a vetésidő és a fajta átlagában (4)				
Kontroll (5)	7,40b	6,39b	10,84a	5,60a
Inszekticid (6)	8,03a	6,65a	10,87a	5,68a
A fajta hatása a vetésidő és a növényvédelem átlagában (7)				
Mv Nádor	8,00a	6,75a	11,64a	5,46d
Mv Nemere	7,92ab	6,72a	11,48a	6,01b
Mv Ménrót	7,72b	6,51ab	11,28a	6,20a
Mv Mente	7,49c	6,43b	9,68c	5,65c
Mv Káplár	7,95a	6,61ab	10,89b	5,24e

Megjegyzés: a kezeléscsoport adott évében az azonos betűt tartalmazó termékek között nincsen szignifikáns különbség.

Table 3. Effect of sowing date, crop protection and genotype on grain yield of winter wheat in a three-factor experiment (Martonvásár, 2019–2022). (1) Treatment, (2) Grain yield (t ha⁻¹), (3) Effect of sowing time averaged over crop protection and variety, (4) Effect of plant protection averaged over sowing time and variety, (5) Control, (6) Insecticide, (7) Effect of variety averaged over sowing time and plant protection, Note: no significant difference between crops containing the same letter in a given year of the treatment group.

A genotípusok teljesítménye összehasonlításában az Mv Nádor, Mv Nemere és Mv Ménrót 3-3, míg az Mv Káplár két évben tartozott a bizonyíthatóan legjobb fajták csoportjába. A prémium minőséget képviselő Mv Mente őszi búza fajta a szemtermés mennyisége szerint egyik évben sem tartozott a legtermékenyebbek csoportjába.

A szemtermés adatokhoz illesztett másodfokú polinomiális függvények maximumpontjainak koordinátái szerint a kezeletlen kontroll és az inszekticiddel kezelt növények teljesítménye nem tért el jelentősen egymástól (4. táblázat).

4. táblázat. A szemtermés adatokhoz illesztett másodfokú polinomiális függvények paramétereit, a maximumpontok koordinátái őszi búza vetésidő kísérletben, a növényvédelmi kezelések és a genotípusok szerint (Martonvásár, 2019–2022)

Faktor (1)	Az $Y^l=a+bx+cx^2$ függvény (2)					
	Paramétereit (3)			Korrelációs koefficiense (r) (4)	Maximumai (5)	
	a	b	c		X_{max}	Y_{max}
	Növényvédelem (6)					
Kontroll (7)	-212,7	1,501	-2,55E-03	0,9834**	295	8,43
Inszekticid (8)	-166,1	1,191	-2,03E-03	0,9948**	293	8,51
Fajta (9)						
Mv Nádor	-167,4	1,203	-2,06E-03	0,9993***	292	8,56
Mv Nemere	-215,4	1,521	-2,58E-03	0,9909**	295	8,81
Mv Ménrót	-172,3	1,233	-2,10E-03	0,98318**	293	8,55
Mv Mente	-144,6	1,035	-1,76E-03	0,9824**	295	7,85
Mv Káplár	-247,3	1,738	-2,95E-03	0,9834**	294	8,56

Megjegyzés: szignifikancia: ***P=0,1%; **P=1,0%.

Table 4. Parameters of second-degree polynomial functions fitted to grain yield data, coordinates of maximum points in winter wheat sowing time experiments, by crop protection treatments and genotypes (Martonvásár, 2019–2022). (1) Factors, (2) function $Y^l=a+bx+cx^2$, (3) Parameters, (4) Correlation coefficient, (5) Maximum values, (6) Crop protection, (7) Control, (8) Insecticide, (9) Variety, Note: significance: ***P=0.1%, **P=1.0%.

A termésmaximumokhoz (8,43 és 8,51 t/ha) tartozó optimális vetési időpontok október 21., illetve október 19. voltak. Ugyanakkor a függvények paraméterei jól mutatják, hogy az optimumnál korábbi vetés a nem védett állományok esetében jelentősebb terméseszkénnyel járt az adott kísérleti körülmények között. Ezek alapján a napi átlagos termésdepresszió becslült mértéke szeptember 25-i vetés esetén a kezeletlen és kezelt búza összehasonlításában 68, illetve 51 kg volt.

A vizsgált fajták esetében a vetésidő-stabilitást jelző napi átlagos terméseszkénny nagysága szintén a korai, szeptember 25-i dátumra vonatkoztatva: Mv Nádor 50, M Nemere 69, Mv Ménrót 51, Mv Mente 47, Mv Káplár 78 kg.

Az őszi búza kezdeti fejlődése különböző szakaszainak hőmérsékleti viszonyai, valamint az inszekticiddel védett növények szemtermés-többletei – a négy év eredményei szerint – csak gyenge-közepes erősségű kapcsolatot mutattak (5. táblázat). A napi minimum-, valamint átlaghőmérsékletek alapján számított hőösszegek esetében ezek a laza kapcsolatok nem voltak szignifikánsak. A napi maximumok kumulált mennyiségei közül a vetést követő leghosszabb, 60 napos periódus esetében lehetett igazolni P=5%-os valószínűségi szinten pozitív összefüggést.

5. táblázat. Az őszi inszekticides állományvédelem terméstöbblete és a kezdeti fejlődés időszakának hőmennyisége közötti linearitás szorossága (r) vetésidő kísérletekben (Martonvásár, 2019–2022)

Hőmennyiség (1)	Vetéstől (2)			
	XI. 30-ig (3)	20 nap (4)	40 nap (5)	60 nap (6)
Napi felsőkumulációs hőösszeg (7)	0,4715	0,3237	0,4034	0,5011*
Napi alsókumulációs hőösszeg (8)	0,3836	0,1013	0,2304	0,3425
Napi átlaghőmérsékleti hőösszeg (9)	0,4560	0,2610	0,3602	0,4568

Megjegyzés: n=16, szignifikancia: *P=5,0%.

Table 5. The closeness of linearity (r) between the yield surplus of autumn insecticide treatment and the heat of the initial development period in sowing time experiments (Martonvásár, 2019–2022). (1) Heat sum, (2) Amount of time since sowing, (3) Until 30th November, (4) 20 days, (5) 40 days, (6) 60 days, (7) Daily upper accumulation heat sum, (8) Daily lower accumulation heat sum, (9) Daily average temperature heat sum, Note: n=16, significance: *P=5.0%.

Következtetések

Korábbi, 15 őszi búza fajtával végzett martonvásári vetésidő kísérleteink eredményei (Árendás et al. 2003) szerint a termőképesség és a vetésidő-érzékenység alapján képzett reakciócsoportok az október 1–7. közötti időszakra becsülték az optimális vetést. Az újabb, a legkorszerűbb fajtákkal 2019–2022 között végzett mérések adatai szerint ez az intervallum október második felére tolódott. A sokévesnél szárazabb vegetációs periódusokban a búzatermesztés kockázata a szeptemberben vetett növényállományokban volt a legnagyobb. A nagyobb napi hőmérsékleti maximumokkal jellemezhető őszi időszakokban a rovarölő szer alkalmazása több termést eredményezett. Korábban Jolánkai (1993) a vetésidő és a fungicid, kapcsolatokat ítélte igen szorosnak. Eredményei azt mutatták, hogy az optimális időben vetett búza fokozottan ki van téve a kórtani veszélyeknek. Saját kísérleti adatsoraink szerint a korán vetett, 14 napon belül kikelt búza egy, a vetést követő száraz és meleg 60 napos periódusban fokozottan ki van téve a rovarok okozta kártételnek is, aminek másodlagos hatása lehet a vírusfertőzések által kiváltott jelentős, extrém körülmények között akár 100%-os termésdepresszió.

Összegzés

Őszi búza fajtákkal beállított vetésidő kísérletek martonvásári eredményei szerint a korai vetések okozta terméseszkkenés kockázata főként meleg, száraz őszön jelentősen nőhet. A negatív hatások mérséklését több agrotechnikai faktor optimalizálása is támogathatja. A legfőbb pozitív hatást, a legkisebb környezetterheléssel járó októberi vetések biztosíthatják. A rovarpopulációk perzisztenciáját mérséklő rovarölő szeres védelem mellett fontos ismernünk és alkalmaznunk a fajták genetikai potenciálját és vetésidőtől függő adaptív képességét is. Az egyes genotípusok produktivitását a termésstabilitással együtt kell értelmezni és a fajták vetési sorrendjét mindezek alapján lehet optimalizálni.

IRODALOM

- Amari, K.–Huang, C.–Heinlein, M.*: 2021. Potential Impact of Global Warming on Virus Propagation in Infected Plants and Agricultural Productivity. *Front. Plant Sci.* 12: 649768.
- Árendás T.–Láng L.–Bónis P.–Bedő Z.*: 2003. Őszi búzafajták vetésidő-reakciójának összehasonlító vizsgálata. *Növénytermelés.* 52. 1: 21–31.
- Bónis, P.–Balázs, F.–Balázs, J.–Kismányoky, T.*: 2010. Effect of sowing date on the weed infestation of winter wheat in long-term experiments. *Acta Agr. Hungarica.* 58. 1: 69–74.
- Dennett, M. D.*: 2000. Effects of sowing date and the determination of optimum sowing date. [In: Satorre, E. M.–Gustavo, A. S. (eds.) *Wheat ecology and physiology of yield determination.*] Food Products Press. Binghamton. 123–140.
- Ding, D. Y.–Feng, H. Y.–Zhao, Y.–He, J. Q.–Zou, Y. F.–Jin, J. M.*: 2015. Modifying Winter Wheat Sowing Date as an Adaptation to Climate Change on the Loess Plateau. *Agronomy Journal.* January 2015. DOI: 10.2134/agronj15.0262
- Dorka D.*: 2005. Különböző hőösszegszámítási módszerek vizsgálata a kukorica termesztésben. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen. 141.
- Erdélyi É.*: 2008. Az őszi búza termesztetőségi feltételei az éghajlatváltozás függvényében. Doktori (PhD) értekezés. Budapest. 107.
- Jolánkai M.*: 1993. A búzatermesztés egyes meghatározó tényezői. Akadémiai doktori értekezés tézisei. Martonvásár.
- MÉM NAK*: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. Budapest.
- Parent, B.–Leclere, M.–Lacube, S.–Semenov, M. A.–Welcker, C.–Martre, P.–Tardieu, F.*: 2018. Maize yields over Europe may increase in spite of climate change, with an appropriate use of the genetic variability of flowering time. *Proceedings of the National Academy of Sciences. USA.* 115: 10642–10647.
- Spink, J. H.–Semere, T.–Sparkes, D. L.–Whaley, J. M.–Foulkes, M. J.–Clare, R. W.–Scott, R. K.*: 2000. Effect of sowing date on the optimum plant density of winter wheat. *Annals of Applied Biology.* 137: 179–188.
- Sváb J.*: 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 557.
- Tao, F.–Zhang, Z.–Xiao, D.–Zhang, S.–Rötter, R. P.–Shi, W.–Liu, Y.–Wang, M.–Liu, F.–Zhang, H.*: 2014. Responses of wheat growth and yield to climate change in different climate zones of China, 1981–2009. *Agricultural and Forest Meteorology.* 18: 91–104.
- Tian, Y. L.–Zheng, C. Y.–Chen, J.–Chen, C. Q.–Deng, A. X.–Song, Z. W.–Zhang, B. M.–Zhang, W. J.*: 2014. Climatic warming increases winter wheat yield but reduces grain nitrogen concentration in East China. *PLoS ONE.* 9: e95108.

Whaley, J. M.–Sparkes, D. L.–Foulkes, M. J.–Spink, J. H.–Semere, T.–Scott, R. K.: 2000.
The physiological response of winter wheat to reduction in plant density.
Annals of Applied Biology. 137: 165–177.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Árendás Tamás
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet ELKH
Martonvásár
Brunszvik út 2.
H-2462
arendas.tamas@atk.hu

Agroökológiai megközelítések a növénytermesztési kutatásokban

BERZSENYI ZOLTÁN

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

Összefoglalás

Az agroökoszisztémák számos interakcióban levő komponensből tevődnek össze (a talaj, a termesztett növény, más biotikus elemek és a környezet). E tényezők mindegyike sajátos módon működik és kialakítja a rendszer dinamikáját, az általános működés e tényezők közötti interakcióból származik. A növények agronómiai reakcióit agroökológiai összefüggésben vizsgáltuk. A kukorica (*Zea mays* L.) növényszám és N-műtrágya reakciója közötti összefüggés megértése kritikus a termesztési döntésekhez. A kukorica termésreakciója a növényszámra és az N-műtrágyára jelentősen függött a környezettől (száraz vs. csapadékos évek). Az agronómiailag optimális növényszám és N-dózis pozitívan korrelált a terméssel. A növekedési mutatók leírják a növénynek, illetve különböző részeinek növekedését, az asszimiláló szervek és a szárazanyag-termelés közötti viszonyt, ezáltal lehetővé teszik a kísérleti kezelések többparaméteres értékelését. Bemutattuk a kukorica szemtermés fiziológiai meghatározásának fő tulajdonságai és folyamatai közötti kapcsolatokat. Az irodalom alapján leírtuk a fenntarthatósági indikátorokat, melyek három fenntarthatósági pilléren (környezeti, ökonómiai és szociális) alapulnak.

Kulcsszavak: kukorica, növényszám-, N-műtrágya reakció, növekedési paraméterek, fenntarthatóság

Agroecological approaches in crop production research

Z. BERZSENYI

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

Summary

Agroecosystems are composed of many interacting entities (soil, cultivated plants, other biotic elements, and the environment). These entities each behave in a certain way and form the system dynamics, the overall behaviour emerges from the interaction between these entities. The agronomic responses of the crops were examined in the agroecological framework. Understanding the relationship of maize (*Zea mays* L.) yield responses to plant density and nitrogen (N) fertilisation is critical to production decisions. Maize yield response to plant density and N rate were significantly dependent on yield environment (dry vs. rainy years). Agronomic optimal plant density and N rate were positively correlated to yield level. The growth parameters describe the growth of whole plants or individual organs, and the relationship between assimilating organs and dry matter production facilitating the multifactorial evaluation of experimental treatments. Diagram linking key traits and processes for the physiological determination of maize grain yield was presented. We described sustainability indicators used in the literature based on the three sustainability pillars: environmental, economic and social.

Keywords: maize, plant density-, N-fertilisation response, growth parameters, sustainability

Bevezetés

A növény számára az agroökoszisztéma az a környezet, amely a növekedésére, fejlődésére és fiziológiai folyamataira közvetlenül vagy közvetve hatással van. Minden termőhely jellemezhető saját természetes környezetével, melynek a termesztett növény ki van téve. Ezeknek a feltételeknek egy részét módosíthatja a

termelő, hogy a legmegfelelőbb körülményeket teremtsen meg a növények fejlődéséhez. Az agroökoszisztémák számos interakcióban levő komponensből tevődnek össze, így a talaj, a termesztett növény, más biotikus elemek és a környezet, melyet a termelő szabályoz. E tényezők mindegyike sajátos módon működik és kialakítja a rendszer dinamikáját; az általános működés e tényezők közötti interakcióból származik.

A növény termése vagy biomassza hozama a környezet, a növény, az agrotechnika, a társadalmi-ökonómiai faktorok és interakcióik függvénye. Matematikailag a termés a következő függvénnyel fejezhető ki:

$$Y = f(E, G, M, S)$$

ahol: Y=termés, f=függvény, E=környezet, G=növényfaj, fajta, M=agrotechnika, S=társadalmi-ökonómiai tényezők.

Egy növény maximális biomassza hozama egy adott környezetben csak akkor érhető el, amikor mindezek a faktorok optimális szinten vannak. Ha e faktorok bármelyike limitáló, a növény biomassza produkciója és hasznos hozama csökken. Fontos kihívás, meghatározni a termesztési és ökológiai tényezők megfelelő kombinációját a források (megújítható és nem-megújítható) leghatékonyabb hasznosítására. A hatékony növénytermesztési rendszereket úgy tervezzük, hogy közel optimális környezetet képezzenek a növénynek a fenntartható maximális produkcióhoz és a rendelkezésre álló források lehető legnagyobb megtérüléséhez (Széll 1984, Sárvári et al. 2001, Nagy et al. 2003, Nagy 2009, Pepó 2020, Széles és Horváth 2020).

A növénytermesztésben a növény reakciója egy adott agrotechnikai eljárásra gyakran növelhető egy vagy több más eljárással. Maximális fenntartható termés csak akkor érhető el, ha figyelmet fordítunk számos agrotechnikai eljárásra, amelyek előnyös kölcsönhatásban vannak egymással. Korábban Cooke (1982), később Evans (1993) felhívta már a figyelmet arra, hogy egy fejlett mezőgazdaságban jelentős termésmenyevedés legtöbbször az interakciók hatásából származik. A termelőknek tesztelni kell minden új fejlesztést, amely növelheti a növények termését és vizsgálni kell két vagy több eljárás kombinált hatását. Folyamatosan vizsgálni kell a rendelkezésre álló technológia korlátait, valamint annak lehetőségét, hogy beépítsünk új

technológiai komponenseket a nagyobb termés elérésére. Számos interakció, amely létfontosságú a nagy termések elérésében, nem különösen jelentős a közepes termés szintjén. A jövőben az interakciók felismerése és szabályozása kulcsfontosságú lesz a fenntartható maximális termés elérésében.

A korszerű növénytermesztési kutatásokat napjainkban az ökofiziológiai irányzat jellemzi. A növekedésanalízist is magában foglaló növénytermesztési kísérletek a kutatás magasabb szintjét és új agrotechnikai irányzatot jelentenek. A növekedésanalízis különböző mutatóinak, valamint a kiegészítő agronómiai, ökológiai és fiziológiai méréseknek az alkalmazásával válik lehetővé a növénytermesztési kísérletek eredményeinek tudományos, több paraméteres értékelése. Ezek a szabadföldi mérések pontos és gyors válaszokat adnak az agronómiai reakciók időbeni folyamatáról, valamint a termésképzéssel való kapcsolatukról. A modern növénytermesztés célja, hogy maximalizáljuk a növekedési rátát és a termést, mind a genotípus, mind pedig a környezet szabályozása révén (Berzsenyi 2002).

A dolgozatban három témakörben folytatott kutatásainkból mutatunk be adatokat: (i) a termesztett növények agronómiai reakciói, (ii) termesztésfiziológiai vizsgálatok és (iii) a növénytermesztés fenntarthatósága.

A kukorica hibridek termésreakciója a növényszámra és a nitrogén (N) műtrágyára eltérő évjáratokban

A kukorica szemtermése jelentősen nőtt az elmúlt évtizedekben a genetikai és agrotechnikai (menedzsment) faktorok együttes hatásának tulajdoníthatóan (Duvick és Cassman 1999, Tollenaar és Wu 1999, Ciampitti és Vyn 2014), melyet bonyolult elkülönítetten analizálni a köztük levő nagyfokú interakció miatt (Duvick 1997, Tollenaar és Lee 2002). Az agrotechnikai változások közül a növekedés a növényzámban és az N-műtrágya felhasználásban a két fő faktor, amely felelős a kukorica termésnövekedés jelentős hányadáért (Duvick 2005). A növényszám az az agrotechnikai faktor, amely legtöbbet változott az utóbbi évtizedekben és N reprezentálja a legszükségesebb tápanyagot a kukoricának, gyakran limitálva a termést. Modern kukorica hibrideket nemesítettek, melyek tolerálják a sűrűség stresszt, azonban fokozottan függnek a N-től (Tokatlidis és Koutroubas 2004). Még a modern kukorica hibrideknél is azonban ingadozik a termésreakció a növényszámra (pozitív,

semleges és negatív) és az N-dózisra, amely főként a komplex interakciókkal függ össze a genotípus (G), a környezet (E) és az agrrotechnika (M) között ($G \times E \times M$) (Assefa et al. 2016, Nagy 2021).

A korábbi kutatások rámutattak arra, hogy az optimális növényszám a maximális terméshez összefügg a vízellátottsággal, a talaj típusával és tápanyag-ellátottságával. Eltérően a termés-növényzámtól, a termés-N-dózis összefüggés nem függ közvetlenül a terméstől (Raun et al. 2011). A talaj N-szolgáltatása, melyet jelentősen befolyásolnak a szezonális időjárási körülmények és a talajjellemzők, fontos szerepet játszik, befolyásolva az N-műtrágya reakciót.

A kukorica termésreakciója a növényszámra várhatóan egy másodfokú modellt követ (Assefa et al. 2016, Schwalbert et al. 2018), a meredekség négy fő régiójával: (i) viszonylag gyors növekedés, (ii) lassú növekedés, (iii) zéró növekedés és (iv) csökkenés, ahogy a növényszám nő az alacsonytól a magas értékig. A magasabb növényszám fokozza az intraspecifikus kompetíciót a forrásokért és csökkenti a növényegyed termését, melyet egyaránt befolyásol a szemszám és szemtömeg csökkenése (Maddoni és Otegui 2004). A termésreakciót a növényszámra meghatározza az egyenleg a növényenkénti termésnövekedés és az egységnyi területen a termésmérsnövekedés között a növényszám növekedésének tulajdoníthatóan. Az agronómiailag optimális növényszámot elérjük, amikor egy tökéletes kompromisszum jön létre a növényenkénti termésnövekedés és az állomány szintű termésmérsnövekedés között.

A kukorica termésreakciója az N-műtrágya dózisra rendszerint egy pozitív trendet képvisel, amikor a talaj N-ellátottság nem elegendő a maximális terméshez, elsődlegesen növelve a termést a szemszámra és a szemtömegre gyakorolt hatáson keresztül. A termés-növényszám összefüggéstől eltérően azonban a termés-N-dózis összefüggésnél nem várható, hogy bekövetkezik egy csökkenő régió közvetlenül a plató után, hanem stabil marad, ahogy az N-dózis nő. A másodfokú plató modelltől állapították meg, hogy a legjobban illeszkedik a termés-N-dózis összefüggéshez (Bullock és Bullock 1994, Ciampitti és Vyn 2014). Csökkenés várható a termésben a szélsőségesen magas N-dózisoknál (több mint 280 kg N/ha-nál 10/ha alatti termékkel).

Másodfokú-plató modell. A másodfokú-plató modellnél, a termésreakciót két függvény határozza meg. Az első görbe a másodfokú egyenlettel írható le, amely meghatározza a másodfokú összefüggést a termés és az inputok (műtrágya) között. A görbének ezt a részét az alábbi egyenlet határozza meg:

$$Y = a + bx + cx^2, \text{ ha } x < C$$

ahol: x input $<$ kritikus (C) input érték.

A második az ún. plató függvény, ahol a további inputok nem növelik a termést. A görbe plató részét az alábbi egyenlet írja le:

$$Y = P, \text{ ha } x \geq C$$

ahol: P a plató termés és az x input \geq kritikus (C) input érték. C a műtrágya kritikus dózisa, amely a másodfokú függvény és a plató függvény metszéspontjánál található.

Kukorica hibridek növényszám reakciója

A kukorica hibridek növényszám reakcióját sávos elrendezésű kísérletben vizsgáltuk az MTA Mezőgazdasági Kutató Intézetének kísérleti területén, Martonvásáron, 20 000 és 100 000 tő/ha növényszám tartományban, kilenc különböző növényzámnál (1000 tő/ha): 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 és 100. Az évjárat hatását a kukorica hibridek növényszám reakciójára az 1981–2010. évi adatok alapján, évente 20–35 hibrid átlagában tanulmányoztuk.

A kísérleti adatokhoz a másodfokú függvény jól illeszkedett. Megállapítottuk, hogy az évjáratnak jelentős hatása van mind a szemtermésre, mind pedig az optimális növényszámra. Száraz években az optimális növényszám 64 630 tő/ha és a hozzá tartozó maximális termés 6,639 t/ha volt. Csapadékos években az optimális növényszám 80 790 tő/ha és a maximális termés 9,864 t/ha volt. Következésképpen kedvezőtlen években a termés 1/3-dal kevesebb volt, mint kedvező években. Száraz években az optimálisnál nagyobb növényszám jelentősen nagyobb terméseszkendést eredményezett, melyet a két görbe közötti távolság növekedése mutatott (*Berzsenyi és Tokatlidís 2012*).

A termés–növényszám összefüggést általában másodfokú függvénnyel jellemezzük, azonban évhatástól (csapadék ellátottság) függően ettől jelentős eltérések lehetnek. Az *1. ábrán* kísérleti adataink alapján négy különböző reakciótypust mutatunk be. A termés–növényszám összefüggés a rendkívül

száraz évben (1. reakció) lineáris trendet követett és a termés 27,5 g/növény rátával (meredekség) csökkent minden egységnyi növényszám növekedésekor a 20 000 és 100 000 növény/ha tartományban. Közepes csapadék ellátottságú években (2. és 4. reakciótípus) a termés-növényszám összefüggés másodfokú (kvadratikus) modellt követett, viszonylag gyors növekedéssel a 70 000, illetve az 50 000 tő/ha növényszámig a kedvezőbb (4. reakciótípus), illetve a kevésbé kedvező (2. reakciótípus) években. A nagyon kedvező csapadékos évjáratban a termés-növényszám összefüggést (3. reakciótípus) a lineáris és a másodfokú függvény egyaránt jól leírta. A lineáris függvény meredeksége alapján a termés 70 g/növény rátával nőtt minden egységnyi növényszám növekedéssel 20 000 és 100 000 tő/ha között.

1. ábra. A kukorica hibridek eltérő növényszám reakciója különböző csapadék-ellátottságú években (reakció 1–4)

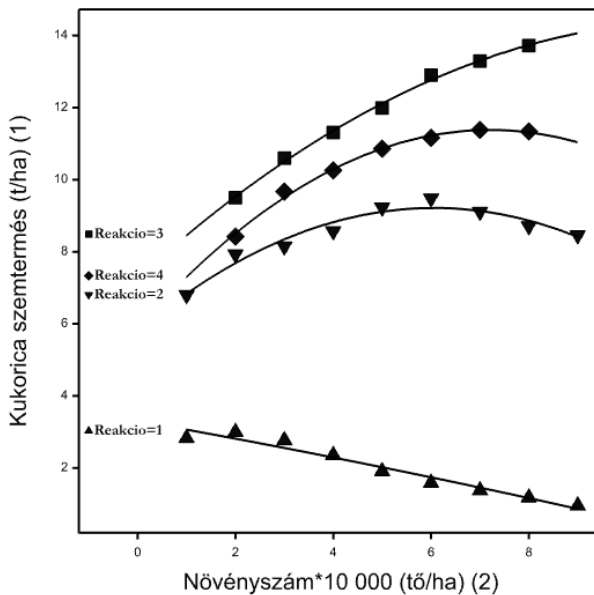
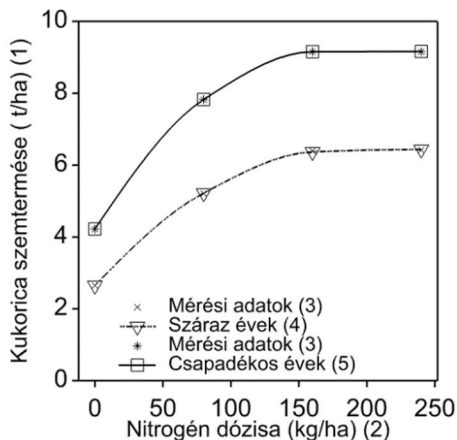


Figure 1. Different responses of maize hybrids to plant density in years with different rainfall (Responses 1–4). (1) Grain yield of maize (t ha⁻¹), (2) Plant density*10 000 (plant ha⁻¹)

A kukorica hibridek N-műtrágyareakciója

A kukorica hibridek N-műtrágya reakcióját Győrffy Béla által 1961. évben az MTA Mezőgazdasági Kutató Intézetének kísérleti területén beállított monokultúra tartamkísérletben tanulmányoztuk. A kísérletben az N-műtrágya dózisa 0, 80, 160 és 240 kg/ha volt. A P- és K-műtrágya mennyisége minden kezelésben azonos (160 kg/ha) volt. A kísérletben évente 10–12 hibrid N-műtrágya reakcióját vizsgáltuk. Az N-műtrágyázás és az évjárat hatását a kukorica hibridek szemtermésére 1970 és 2009 között 14 száraz és 26 csapadékos évjárat adatai alapján elemeztük. A 40 év átlagában a tenyészidőszakban (04–09. hónap) lehullott csapadék mennyisége a csapadékos éveken 330 mm volt, a száraz évek átlagában mintegy 100 mm-rel kevesebb.

2. ábra. A kukorica hibridek N-műtrágya reakciója 1970 és 2009 között 14 száraz és 26 csapadékos év átlagában a martonvásári tartamkísérletben



Megjegyzés: az adatokhoz másodfokú-plató függvényt illesztettünk. Száraz évek (4): $Y = 2,65 + 0,041X - 11,3 \cdot 10^{-5}X^2$, $X > 182$ plató (6): 6,38, $R^2: 0,99$, $p < 0,001$; csapadékos évek (5): $Y = 4,22 + 0,059X - 17,8 \cdot 10^{-5}X^2$, $X > 167$ plató (6): 9.16, $R^2: 0,99$, $p < 0,001$.

Figure 2. N-fertilisation reaction of maize hybrids in the average of dry years (14 years) and rainy years (26 years) in the period of 1970–2009 in the long-term experiment in Martonvásár. (1) Grain yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Nitrogen rate ($kg\ ha^{-1}$), (3) Measured data, (4) Dry years, (5) Rainy years, (6) Plateau, Note: quadratic-plateau model was fitted to the data.

A száraz és csapadékos éveket összehasonlítva, a kísérleti adatok alapján a csapadékos években a termésnövekedés N-kezelésenként a következő volt (t/ha): N₀: 1,567, N₈₀: 2,616, N₁₆₀: 2,764, N₂₄₀: 2,74. A kukorica hibridek N-műtrágya reakciójának jellemzésére a termésadatokhoz másodfokú-plató függvényt illesztettünk (2. ábra). A függvény nagyon pontosan illeszkedett a kísérleti adatokhoz. A függvényből származtatott adatok alapján száraz években a legnagyobb termést (6,38 t/ha) 182 kg/ha N-műtrágya dózisonál kaptuk. Csapadékos években a termés maximuma (9,16 t/ha) 167 kg/ha N-dózisonál volt. Megállapítható, hogy száraz években az alacsonyabb termés (kezelések átlagában 5,17 t/ha) eléréséhez több N-műtrágyára volt szükség, összehasonlítva a csapadékos évek nagyobb termésével (kezelések átlagában 7,59 t/ha).

A kukorica szemtermésképzés növénytulajdonságai és ökofiziológiai folyamatai

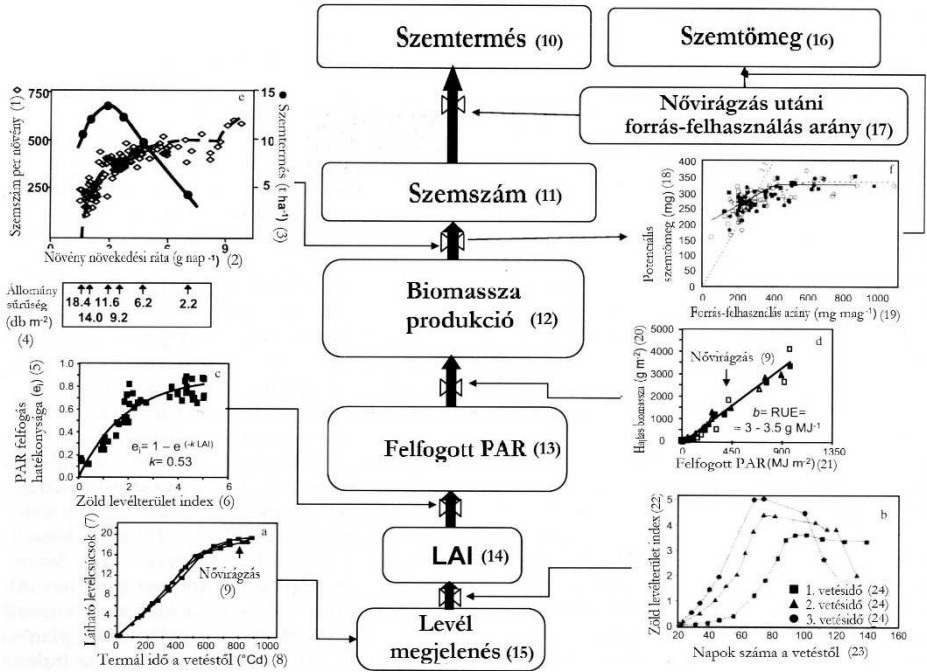
Biomassza = forrás rendelkezésre állása × forrás felvétel × forrás felhasználás hatékonysága.

Szemtermés = biomassza × harvest index.

Ebben a megközelítésben a biomassza produkció és a harvest index (az összes biomassza szemtermésbe allokált hányada) a fő tulajdonságok, melyek meghatározzák a végső szemtermést. Ezek a tulajdonságok felbonthatók kisebb komponensekre a fiziológiai folyamatok modelljében, melyek végbe mennek a növény növekedési ciklusa folyamán (3. ábra).

A diagram összekapcsolja a fontos tulajdonságokat és folyamatokat a kukorica szemtermés fiziológiai meghatározásában, magában foglalva (a) a látható levélcúcsok fejlődését, (b) a zöld levélfelület index fejlődését, (c) PAR felfogás hatékonyságának reakcióját a zöld LAI-ra és az adatokhoz illesztett exponenciális modellt, (d) a kumulatív hajtás biomassza reakcióját a kumulatív PAR-ra és az adatokhoz illesztett lineáris modellt, (e) a növényenkénti szemszám reakcióját a növény növekedési rátájára a szemképződés kritikus periódusában és a szemtermés (t/ha) reakcióját a növény növekedési rátájára (az állomány sűrűségek minden egyes szemtermés szintre jelezve vannak az alsó dobozban) és (f) az egyedi végső szemtömeg reakcióját a növény növekedésére per mag az aktív szemtelítődés idején (azaz forrás-felhasználás arány) (Otegui et al. 2015).

3. ábra. A diagram összekapcsolja a kukorica szemtermés fiziológiai meghatározásának fontos tulajdonságait és folyamatait



Forrás: *Otegui et al. (2015)* alapján

Figure 3. Diagram linking key traits and processes for the physiological determination of maize grain yield. (1) Kernel number per plant, (2) Plant growth rate (g d^{-1}), (3) Grain yield (t ha^{-1}), (4) Stand density (pl. m^{-2}), (5) PAR interception efficiency (ϵ_i), (6) Green leaf area index, (7) Visible leaf tips, (8) Thermal time from sowing ($^{\circ}\text{Cd}$), (9) Silking, (10) Grain yield, (11) Kernel number, (12) Biomass production, (13) Intercepted PAR, (14) LAI, (15) Leaf appearance, (16) Kernel weight, (17) Post-silking source-sink ratio, (18) Potential kernel weight (mg), (19) Source-sink ratio (mg kernel^{-1}), (20) Shoot biomass (g m^{-2}), (21) Intercepted PAR (MJ m^{-2}), (22) Green leaf area index, (23) Days from sowing, (24) Sowing date. Source: *Otegui et al. (2015)*

A biomassza produkcióval összefüggő tulajdonságokat a modell forrás (resource) komponenseiként azonosítjuk, míg a szemtermésbe történő allokációval összefüggő tulajdonságok a felhasználás (sink) komponensek (*Lee és Tollenaar 2007*). A biomassza produkció függ a fotoszintetikusan aktív sugárzás (PAR) mennyiségétől, melyet a levélzet felfogott a ciklus folyamán

és a levélzet fotoszintetikus kapacitásától. A PAR felfogása függ a növény fény felfogásának hatékonyságától (e : a felfogott és beeső PAR közötti arány), amely összefügg a levélzet fejlődésének rátájával, maximális méretével és fennmaradásával és architektúrával, melyet a vertikális és vízszintes irányú levél hajtásszögek alakítanak ki. Változások a növényállomány architektúrában hatással vannak az e -re. Ez vezette *Duncan* (1971) kutatót egy ideális kukoricánövény (ideotípus) meghatározására, meredeken felfelé irányuló levélállással a felső levélszinteken és kifejezetten planofil (vízszinteshez közeli) levélállással az alsó levélszinteken, magas levélterület indexszel ($LAI > 4$). A levélzet fotoszintetikus kapacitását képviseli az átalakítási hatékonyság, vagyis a fényhasznosítás hatékonysága (RUE), amely kifejezhető PAR-ban vagy napsugárzás $\times 0,45$ -tel. A RUE függ a zöld szövetek fotoszintetikus rátája és a légzési veszteség közötti egyenlegtől. Ez az egyenleg jelentősen változik a fajok és növekedési feltételek között, és a kukorica RUE értéke a legnagyobb a gabonafélék között (*Sinclair és Muchow* 1999).

A harvest index elsődlegesen összefügg a szemszámmal, amely kukoricában viszonylag rövid kritikus periódusban alakul ki (< 30 nap), amely közrefogja a nővirágzást és megfelel a cső hosszirányú növekedés, a nővirág megjelenés, a pollenszórás és a megtermékenyülés stádiumainak. A növény és a cső növekedési rátája ebben az időszakban szabályozza a növényenkénti végső magszámot, míg a mag száradási rátája és a forrás-felhasználás arány szabályozza a végső magtömeget. A környezet és az agrotechnika (menedzsment) szabályozza az összes modell komponenst, megváltoztatva a forrás-felhasználás egyenlegét a ciklus folyamán és következésképpen a termést (3. ábra).

Ennek a koncepcionális keretnek legtöbb eleme beépült a növény szimulációs modellekbe, mint pl. a CERES-Maize (*Jones és Kiniry* 1986) és széleskörűen használják a kutatásban. A termés meghatározást ezekkel a fiziológiai modellekkel felhasználják a menedzsment és a környezeti hatások és interakciójuk megértésére, a korábbi nemesítési hatások értelmezésére és a tulajdonság módosítás várható előnyeire. További előnye ezeknek a modelleknek, hogy a genetikai szabályozás könnyen összekapcsolható mindegyik tulajdonsággal.

A növénytermesztés fenntarthatósága és az ökoszisztéma szolgáltatások

A mezőgazdaság napjainkban is rendkívül produktív, ellátva elegendő élelmiszerrel a világ népességének nagy hányadát. Történelmi összehasonlításban ez valóban példa nélküli helyzet. Kritikusan szemlélve azonban, az iparszerű mezőgazdaság, amely képes élelmiszerbőséget teremteni napjainkban, nem jelenti azt, hogy képes lesz erre hosszú távon is. A valóságban az élelmiszertermelés iparszerű rendszere gyakran veszélyezteti a mezőgazdasági termelés alapjait – a termékeny talajt, a rendelkezésre álló vízkészleteket, a tápelemek körforgását, a genetikai diverzitást és a természetes rendszerek ökoszisztéma szolgáltatásait (Robertson *et al.* 2014, Gliessman 2015, Gaba *et al.* 2018).

Az elmúlt évtizedekben az iparszerű növénytermesztés hátrányos hatásainak minimalizálására a természetes különböző alternatív koncepciókat fejlesztették ki. A gyakorlatban három fő megközelítés van, hogy elérjük a fenntartható mezőgazdaság céljait: az integrált mezőgazdaság, az organikus mezőgazdaság és a fenntartható intenzifikáció (Connor *et al.* 2011). Az ilyen alternatívák általános gondolata a fenntartható mezőgazdaság, amely azon az alapon nyugszik, hogy a mezőgazdasági termelésnek meg kell felelni a jelen szükségleteinek, a jövő generációi lehetőségeinek veszélyeztetése nélkül, hogy megteremtsék saját szükségleteiket.

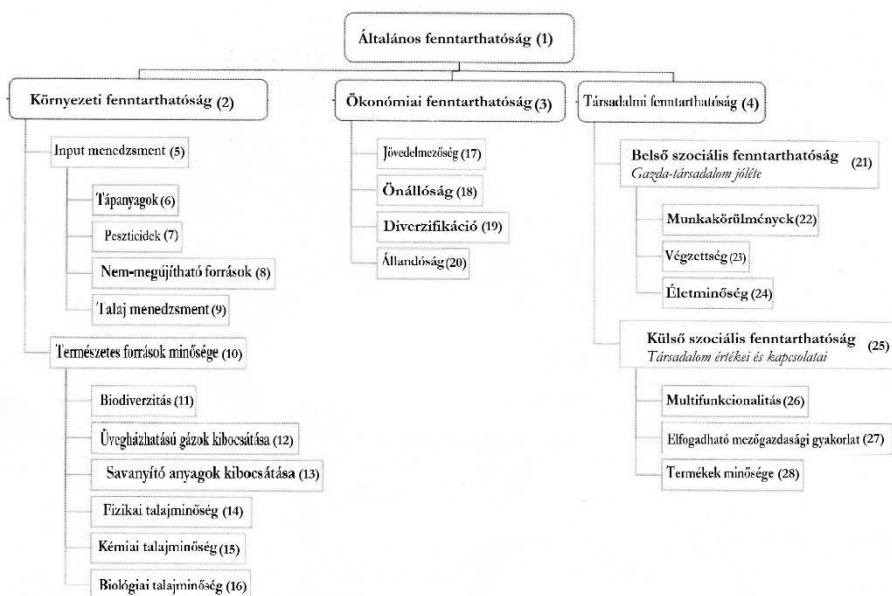
A fenntarthatóság indikátorai

A fenntarthatóság becslése kulcsfontosságú lépés a fenntartható gazdálkodási rendszerek fejlesztésének támogatásában. A gyakorlatban ez magában foglalja a fenntarthatóság három dimenzióját, nevezetesen a környezeti, ökonómiai és szociális dimenziót (4. ábra).

E három, egymással kölcsönhatásban levő dimenzióknak a harmonikus kombinációja képezi a fenntartható mezőgazdaság gerincét. Ahhoz, hogy előrehaladás legyen a fenntarthatóság irányába, szükséges elfogadható eredményt elérni a fenntarthatóság mindegyik dimenziójában. A gyakorlatban a fenntarthatóság becslése tartalmazza az egyedi dimenziók felosztását különböző célokra, tulajdonságokra (témákra) és ezeknek a céloknak a becslését indikátorok felhasználásával. Az indikátorok változók (kvalitatív/ kvantitatív adatok megfigyelt, mért vagy más adatokból számítva), melyek információt

szolgáltatnak más változókról, melyekhez bonyolultabb a hozzáférés és melyek mérőföldkőnek használhatók a döntéshozatalkor. Az indikátorok statisztikai konstrukciók, melyek a döntéshozatalt támogatják, trendek feltárásával az adatokban.

4. ábra. A mezőgazdasági fenntarthatóság becslése a gazdaság szintjén, figyelembe véve a környezeti, ökonómiai és társadalmi dimenziókat, és felosztásuk különböző témákra



Forrás: Lebacqz et al. (2012)

Figure 4. Assessment of agricultural sustainability at farm level by considering environmental, economic, and social dimensions, and dividing them into various themes. (1) Overall sustainability, (2) Environmental sustainability, (3) Economic sustainability, (4) Social sustainability, (5) Input management, (6) Nutrients, (7) Pesticides, (8) Non-renewable resources, (9) Land management, (10) Quality of natural resources, (11) Biodiversity, (12) Emission of greenhouse gases, (13) Emission of acidifying substances, (14) Physical soil quality, (15) Chemical soil quality, (16) Biological soil quality, (17) Profitability, (18) Autonomy, (19) Diversification, (20) Durability, (21) Internal social sustainability: Well-being of the farm community, (22) Working conditions, (23) Education, (24) Quality of life, (25) External social sustainability: Values and concerns of society, (26) Multifunctionality, (27) Acceptable agricultural practices, (28) Quality of products, Source: Lebacqz et al. (2012) Source: Lebacqz et al. (2012)

Labacq et al. (2012) a környezeti indikátorokat tíz környezeti témába csoportosította, melyek vagy a környezet látható aspektusaira vagy a jelentős környezeti hatású emberi tevékenységekre fókuszálnak. Ezek a témák magukba foglalják a tápanyagokat, a peszticideket, a nem-megújítható forrásokat (energia és víz), a földhasználatot, az üvegházhatású gázokat és a savanyító hatású anyagokat, a biodivezitást és a fizikai, kémiai és biológiai talajminőséget (4. ábra). Az első négy összefügg az input menedzsmenttel, míg a többi a természetes környezet minőségéhez tartozik. Ezzel szemben az ökonómiai indikátorok viszonylag kevés témát ölelnek fel. A szociális indikátorok tipikusan két fő témát fednek le: a gazda társadalom és az egész társadalom fenntarthatósága. Ezeknek a szociális indikátoroknak a mérése kihívás, mivel gyakran kvalitatívak és ezáltal szubjektívnek tekinthetők.

A természet fenntarthatósága csak meghatározott időperiódus relációjában mérhető, és a rendszer fenntarthatóságára ható fontos trendek 5-10-20 év után vagy ennél hosszabb idő elteltével válnak nyilvánvalóvá. Elsősorban tartamkísérletekből nyerhetők megfelelő indikátorok (terméstrendek, termésstabilitás, az ökoszisztéma minőségét jellemző mutatók, output/input és produktívítási indexek) a természet fenntarthatóságáról, ilyen módon korai jelzőrendszerként is szolgálnak (*Árendás és Csathó 2002, Izsáki 2009, Kismányoky 2009, Nagy 2009, Berzsenyi 2022*).

A növénytermesztőknek fel kell ismerni, hogy a mezőgazdaság a természetén kívül más ökoszisztéma szolgáltatásokat is nyújt, nevezetesen: támogató, ellátó, szabályozó és kulturális szolgáltatásokat (*Millenium Ecosystem Assessment 2005, Berzsenyi 2018, 2021*). Egy ideális rendszerben, a szolgáltatásoknak mind a négy típusa közel egyensúlyban van, hogy stabilan hozzájáruljon egy egészséges agroökoszisztémához. A jelenlegi növénytermesztési rendszerekben a hangsúly elsődlegesen az ellátó szolgáltatáson van, a másik három hátrányára. A nélkülözhetetlen ökoszisztéma szolgáltatások mintegy 60%-a degradálódott vagy nem-fenntarthatóan van használva, növelve a potenciálisan váratlan változások valószínűségét, mely súlyos hatással van az emberi jólétre (*Millenium Ecosystem Assessment 2005*). Globális hipotézisünk, hogy az ökológiai ismeret nagyrészt helyettesítheti a legtöbb kémiai inputot az intenzív agrotechnikájú, nagyon produktív egyéves kultúrnövényeknél (*Gaba et al. 2018*).

Köszönetnyilvánítás

"Tisztelettel és nagyrabecsüléssel köszöntjük Prof. Dr. Nagy Jánost, a Növénytermelés főszerkesztőjét, aki bölcs előrelátással és szakma szeretettel közreműködött abban, hogy a Növénytermelés tudományos folyóirat fennmaradjon és tovább szolgálja a növénytermesztők közösségét."

IRODALOM

- Assefa, Y.–Prasad, P. V. V.–Carter, P.–Hinds, M.–Bhalla, G.:* 2016. Yield response to planting density for S corn hybrids: A synthesis-analysis. *Crop Sci.* 56: 2802–2817.
- Árendás, T.–Csathó, P.:* 2002. Comparison of the effect of equivalent nutrients given in the form of farmyard manure or fertilizers in Hungarian long-term field trials. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 30: 2861–2878.
- Berzsényi Z.:* 2002. A növekedésanalízis funkcionális módszere. *Növénytermelés.* 51. 4: 449–467.
- Berzsényi, Z.:* 2018. Challenges and agroecological approaches in crop production. *Acta Agraria Debreceniensis* 150: 75–89.
- Berzsényi Z.:* 2021. A növénytermesztés fenntarthatóságának alternatív útjai. *Növénytermelés.* 70. 2: 87–121.
- Berzsényi Z.:* 2022. Stabilitásanalízis a növénytermesztési tartamkísérletekben. *Növénytermelés.* 71. 1: 99–130.
- Berzsényi, Z.–Tokatlidís, I. S.:* 2012. Density dependence rather than maturity determines hybrid selection in dryland maize production. *Agron. J.* 104: 331–336.
- Bullock, D. G.–Bullock, D. S.:* 1994. Quadratic and quadratic-plus-plateau models for predicting optimum nitrogen rate of corn: A comparison. *Agron. J.* 86: 191–195.
- Ciampitti, I. A.–Vyn, T. J.:* 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agron. J.* 106: 2107–2117.
- Connor, R. S.–Loomis, D. J.–Cassman, K. G.:* 2011. *Crop Ecology.* University Press. Cambridge.
- Cooke, G. W.:* 1982. *Fertilizing for maximum yield.* Crosby Lockwood and Son Ltd. London.
- Duncan, W. G.:* 1971. Leaf angles, leaf area, and crop photosynthesis. *Crop Sci.* 11: 43–54.
- Duvick, D. N.:* 1997. What is yield? [In: Edmeades, G. O. (ed.) *Developing drought and low N-tolerant maize.*] CIMMYT. El Batán. Mexico. 332–335.
- Duvick, D. N.:* 2005. The contribution of breeding to yield advances in maize (*Zea mays* L.). *Adv. Agron.* 86: 83–145.
- Duvick, D. N.–Cassman, K.:* 1999. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the United States. *Crop Sci.* 39: 1622–1630.

- Evans, L. T.*: 1993. Crop evolution, adaptation and yield. Cambridge University Press. Cambridge.
- Gaba, S.-Alignier, A.-Aviron, S.-Barot, S.-Blouin, M.-Hedde, M.-Jabot, F.-Vergnes, A.-Bonis, A.-Bonthoux, S.-Bourgeois, B.-Bretagnolle, V.-Catarino, R.-Coux, C.-Gardarin, A.-Giffard, B.-Le Gal, A.-Lecomte, J.-Miguet, P.-Piutti, S.-Rusch, A.-Zwicke, M.-Couvet, D.*: 2018. Ecology for sustainable and multifunctional agriculture. *Sustainable Agriculture Review*. 28: 1–46.
- Gliessman, S. R.*: 2015. Agroecology. CRC Press. Boca Raton. FL. USA.
- Izsáki Z.*: 2009. Csernozjom réti talaj N-forgalma műtrágyázási tartamkísérletben. [In: Berzsényi Z.-Árendás T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 253–258.
- Jones, C. A.-Kiniry, J. R.*: 1986. CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development. Texas A&M University Press. College Station.
- Kismányoky T.*: 2009. A tartamkísérletek jelentősége a talajtermékenység kutatásában. [In: Berzsényi Z.-Árendás T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 107–114.
- Lebacqz, Th.-Baret, Ph. V.-Stilmant, D.*: 2012. Sustainability indicators for livestock farming. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 33: 311–327.
- Lee, E. A.-Tollenaar, M.*: 2007. Physiological basis of successful breeding for maize grain yield. *Crop Sci.* 47: 5202–5215.
- Maddoni, G. A.-Otegui, M. E.*: 2004. Infra-specific competition in maize: Early establishment of hierarchies among plants affects final kernel set. *Field Crops Res.* 85: 1–13.
- Millennium Ecosystem Assessment*: 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press. Washington D.C.
- Nagy J.-Pakurár M.-Farkas I.-Lakatos L.*: 2003. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő talajművelési változatokban. *Növénytermelés*. 52. 2: 139–146.
- Nagy J.*: 2009. A tápanyagellátás és a vízgazdálkodás kölcsönhatásának értékelése a debreceni tartamkísérlet alapján. [In: Berzsényi Z.-Árendás T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 21–30.
- Nagy J.*: 2021. Kukorica. A nemzet aránya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
- Otegui, M. E.-Borrás, L.-Maddoni, G. A.*: 2015. Crop phenotyping for physiological breeding in grain crops: A case study for maize. [In: Sadras, V. O.-Calderini, D. F. (2009) *Crop physiology*.] Elsevier. San Diego. CA. 375–396.
- Pepó P.*: 2020. Termesztéstechnológiai tényezők kölcsönhatásának vizsgálata őszi búza és kukorica tartamkísérletekben. *Növénytermelés*. 69. 1: 53–72.

- Raun, W. R.–Solie, J. B.–Stone, M. L.:* 2011. Independence of yield potential and crop nitrogen response. *Precis. Agric.* 12: 508–518.
- Robertson, G. Ph.–Gross, K. L.–Hamilton, S. K.–Landis, D. A.–Schmidt, T. M.–Snapp, S. S.–Swinton, S. M.:* 2014. Farming for ecosystem services: An ecological approach to production agriculture. *Bioscience.* 64. 5: 404–415.
- Sárvári M.–Futó Z.–Zsoldos M.:* 2001. A vetésidő hatása a különböző genetikai adottságú kukorica hibridek termésére. *Növénytermelés.* 50. 1: 43–60.
- Schwalbert, R.–Amado, T. J. C.–Horbe, T. A. N.–Stefanello, L. O.–Assefa, Y.–Prasad, P. V. V.–Rice, Ch. W.–Ciampitti, I. A.:* 2018. Corn yield response to plant density and nitrogen: Spatial models and yield distribution. *Agron. J.* 110: 970–982.
- Sinclair, T. R.–Muchow, R. C.:* 1999. Radiation use efficiency. *Adv. Agron.* 65: 215–265.
- Széll E.:* 1984. Termesztési kutatások: tőszám kísérletek. A hatodik évtized – Összefoglaló kiadvány a Gabonatermesztési Kutatóintézet 1974–1983 közötti munkájáról. Szeged. 113–116.
- Széles A.–Horváth É.:* 2020. Környezeti tényezők és az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica néhány fiziológiai tulajdonságára és termésére. *Növénytermelés.* 69. 2: 57–79.
- Tokatlidis, I. S.–Koutroubas, S. D.:* 2004. A review of maize hybrids' dependence on high plant populations and its implications for corn yield stability. *Field Crops Res.* 88. 2–3: 103–114.
- Tollenaar, M.–Lee, E. A.:* 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75: 161–169.
- Tollenaar, M.–Wu, J.:* 1999. Yield improvement in temperate maize is attributed to greater stress tolerance. *Crop Sci.* 39: 1597–1604.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

Dr. Berzsenyi Zoltán
MATE Kaposvári Campus
Növénytermesztés-tudományok Intézet
Kaposvár
Guba Sándor u. 40.
H-7400
profberzsenyi.zoltan@gmail.com

Őszi árpa fajták termése, termésstabilitása és minősége a Hajdúsági löszháton

CSAJBÓK JÓZSEF - KUTASY ERIKA

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Három őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) fajtát vizsgáltunk kisparcellás szántóföldi kísérletben különböző N-ellátottság mellett, 2017–2022 között. A fajták között szignifikáns különbséget igazoltunk az NDVI értékekben, a megvilágítási görbékben, a termésben és fehérjetartalomban. A LAI maximális értékeit nagyobb mértékben az évjárat határozta meg. A vizsgált árpafajták mindegyikében szoros kapcsolatot találtunk az NDVI értékek és a szemfehérje-tartalom között. A KG Puszta mutatta a legjobb termésstabilitást, a környezeti feltételek javulására a KG Apavár reagált legjobban. Fehérjetartalom tekintetében a KH Korsó fajta volt a legstabilabb, nagy fehérjetartalom mellett, míg legkevésbé stabil a KG Puszta volt.

Kulcsszavak: termésstabilitás, fehérjetartalom, árpa N-ellátása

Yields, yield stability and quality of winter barley varieties on the Hajdúság loess plateau

J. CSAJBÓK - E. KUTASY

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

Summary

Three varieties of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) were tested in small plot field experiments under different N supply conditions from 2017 to 2022. Significant differences in NDVI values, sunlight curves, yield and protein content were confirmed between the varieties. Maximum LAI values were more strongly determined by crop year. A strong relationship was found between NDVI values and grain protein content in all the barley examined varieties. KG Puszta showed the best yield stability, while KG Apavár responded best to the improvement of environmental conditions. In terms of protein content, KH Korsó was the most stable with high protein content, while KG Puszta was the least stable.

Keywords: yield stability, protein content, barley N supply

Bevezetés

Az árpa (*Hordeum vulgare* L.) a negyedik legfontosabb gabonaféle a világon, elsősorban takarmányozásra használják, de azokban a régiókban, ahol az éghajlat nem kedvező más gabonafélék számára, jelentős élelmiszerforrásként is szolgál. A világ számos részén extenzíven termesztik, de az intenzív technológia is jelen van, elsősorban az európai országokban. Európában a Földközi tenger térsége az egyik legfontosabb termőterület. A vízhiány gyakran csökkenti az árpa termelékenységét és hozamát ebben a régióban, annak ellenére, hogy az árpa jól tűri a vízstresszt (Lopes *et al.* 2004, Robredo *et al.* 2007). Jelenleg az árpát ígéretes bioüzemanyag-forrásként is vizsgálják. A globális élelmezésbiztonságot az éghajlatváltozás és az emberi népesség gyors növekedése fenyegeti. Mivel a gabonafélék (pl. az árpa) alapvető élelmiszert és takarmányt jelentenek, az

árpatermelést fenntartható módon növelni kell (Godfray et al. 2010, Newton et al. 2011, Giraldo et al. 2019).

Az árpa a környezeti feltételek széles skáláját tűri. Jól alkalmazkodik a kedvezőtlen környezethez (pl. hideg, szárazság, gyenge talajok, sekély termőréteg, magas sókoncentráció) (Degl'Innocenti et al. 2009, Bertholdsson 2013, Al-Ajlouni et al. 2016, Carter et al. 2019). Más gabonafélékkel összehasonlítva az árpa jól alkalmazkodik a szárazsághoz is (Ahmed et al. 2016, Sallam et al. 2019). Az erős, jól fejlett gyökérzet segíti a szárazságtűrést. Az árpa a búzánál jobban tolerálja a kedvezőtlen éghajlati viszonyokat (Godfray et al. 2010).

A szakirodalomban számos, az árpa termesztésével kapcsolatos problémák megoldását célzó tanulmányt olvashatunk, ezek jelentős része a vetésváltás és tápanyagellátás témakörével foglalkozik. A kisebb ráfordítással elérhető nagyobb terméshozamhoz a fajták genetikai fejlesztése szükséges, az árpa fajták tápanyag- és vízhasznosítási hatékonyságának növelése érdekében (Doré et al. 2011, Tittonell 2014, Kovacevic et al. 2015). Az árpa N-ellátásával kapcsolatban számos publikáció jelent meg (Zheng et al. 2011, Kádár és Csató 2013). Drew (1975) azt írta, hogy az árpa erős gyökérzettel rendelkezik, és hogy az árpa oldalgyökerei magas NO_3^- és NH_4^+ koncentrációjú foltokba nőnek. Siebrecht et al. (1995) megállapította, hogy a N-hiányos árpanövények, szinte azonnali N-felvételt mutattak N-trágyázás után. Az árpa N-koncentrációjának becslése a levél NIR-reflexiójának segítségével lehetséges (Perry et al. 2012). Az árpafajták változatosan reagálnak a N-ellátásra, és jelentős különbségek mutathatók ki a terméshozamban és az NDVI-értékben (Csajbók és Kutasy 2018).

Kutatásunk során a vizsgált árpafajták nitrogénellátásra adott reakcióit, termésstabilitását, minőségét elemeztük. Ennek érdekében széles körű méréseket végeztünk 2017–2022 között.

Anyag és módszer

A kísérletet 2016 őszén állítottuk be a DE AKIT Növénytermesztési Kísérleti Telepén Látóképen. A kísérleti terület koordinátái a következők: $47^{\circ}33'42''$ É; $21^{\circ}27'02''$ K, Debrecentől mintegy 15 km-re.

A kísérleti terület talaja a Hajdúsági löszháton kialakult mészlepedékes csernozjom. A felső réteg humusztartalma átlagos ($\text{Hu}\%=2,7-2,8$), a humuszos réteg vastagsága 80 cm körüli. Az Arany-féle kötöttség (K_A) 43 és 47,6 közötti.

A felső talajrétegek kémhatása közel semleges ($\text{pH}_{\text{KCl}}=6,46-6,6$). A talaj térfogattömege a művelt rétegekben $1,40-1,46 \text{ g/cm}^3$, míg az alsóbb rétegekben $1,23-1,28 \text{ g/cm}^3$, foszforellátottsága átlagos (AL-oldható P_2O_5 133 mg/kg), míg káliumellátottsága átlagos-jó (AL-oldható K_2O 240 mg/kg) (1. táblázat).

1. táblázat. A kísérlet területének talajvizsgálati eredményei (Debrecen, 2015)

	Mélység				
	0-25 cm	25-50 cm	50-75 cm	75-100 cm	100-130 cm
pH_{KCl}	6,46	6,36	6,58	7,27	7,36
K_Λ	43	44,6	47,6	46,6	45,4
CaCO_3 (%)	0	0	0	10,25	12,75
Humusz (%) (2)	2,76	2,16	1,52	0,9	0,59
Szerves C (%) (3)	1,60	1,25	0,88	0,52	0,34
Össz N (%) (4)	0,15	0,12	0,086	0,083	0,078
NO_3+NO_2 (mg/kg)	6,2	1,74	0,6	1,92	1,78
P_2O_5 (AL) (mg/kg)	133,4	48	40,4	39,8	31,6
K_2O (AL) (mg/kg)	239,8	173,6	123	93,6	78
Mg (mg/kg)	332,4	405,4	366,6	249	286,6
Na (mg/kg)	38	66,2	55,4	67,8	62,6
Zn (mg/kg)	2,8	0,8	0,58	0,48	0,84
Cu (mg/kg)	5,86	4,54	3,64	2,24	1,64
Mn (mg/kg)	438	406	339	74	4
SO_4 (mg/kg)	9,25	9,13	10,8	7,95	22,98

Megjegyzés: K_Λ - Arany-féle kötöttség, AL - ammónium laktát-oldható, Össz N% - Kjeldahl módszerrel meghatározva.

Table 1. Soil test results for the experiment area (Debrecen, 2015). (1) Depth, (2) Humus (%), (3) Organic C (%), (4) Total N (%), Note: K_Λ - Arany's plasticity index, AL - ammonium lactate soluble, Total N% - determined using Kjeldahl's method.

A pórustérfogat $45-53,7\%$ között van a talajprofilban. Kedvező vízháztartású, minimális vízkapacitása a $0-200 \text{ cm}$ -es rétegben 808 mm , a holtvíztartalom 295 mm . A rendelkezésre álló vízmennyiség telített állapotban 513 mm a $0-$

200 cm-es rétegben, amelyből 342 mm könnyen hozzáférhető. A talajvízszint 3–5 méteres mélységben van.

A méréseket kisparcellás ($2 \times 9,2 \text{ m} = 18,4 \text{ m}^2$) kísérletben végeztük, négy valós ismétléssel. A vetést Sulky vetőgéppel végeztük, 4 millió vetőmag/ha vetőmagmennyiséggel, a mélység 5 cm volt. A trágyázási szintek a következők voltak: N90 P45 K50 és N150 P45 K50 kg/ha.

A parcellákban évente három alkalommal (BBCH 27–29), (BBCH 47–49), (BBCH 73–75) mértük a fotoszintézis paramétereit, a levélterület indexet (LAI), a normalizált differenciált vegetációs indexet (NDVI). Betakarítás után a szemtermést, a szem nedvességtartalmát és a fehérjetartalmat mértük. A vizsgált őszi árpa fajták: KG Apavár, KG Pusztá, KH Korsó.

Az asszimilációs paraméterek méréséhez LI-6800 (LI-COR, USA) hordozható fotoszintézis mérő műszert használtunk. A fénygörbékhez kilenc lépésben (2000, 1500, 1200, 900, 600, 300, 150, 50, 20 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) csökkenő fotonáram-sűrűséget (PPFD) használtunk, 90% vörös (625 nm) és 10% kék (475 nm) megoszlásban. A CO_2 -koncentrációt a kamrában 400 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ szintre állítottuk be injektor és szén-dioxid patronok segítségével. A környezeti CO_2 -szint 399,946 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ volt. Fényhez adaptált leveleket mértük, levelenként hatszor, parcellánként két növényen.

Az NDVI mérésekhez egy Trimble (USA) GreenSeeker kézi műszert használtunk. Többszörös mérést végeztünk a parcella elejétől a végéig átlagolva. Az optimális leolvasás érdekében az érzékelőt következetesen 60 cm magasan tartottuk a lombozat fölött. A levélfelület-indexet (LAI) a LAI-2000 Plant Canopy Analyzer (LI-COR, USA) segítségével mértük egy szenzoros üzemmódban, nyolc leolvasást átlagoltunk minden egyes parcellára.

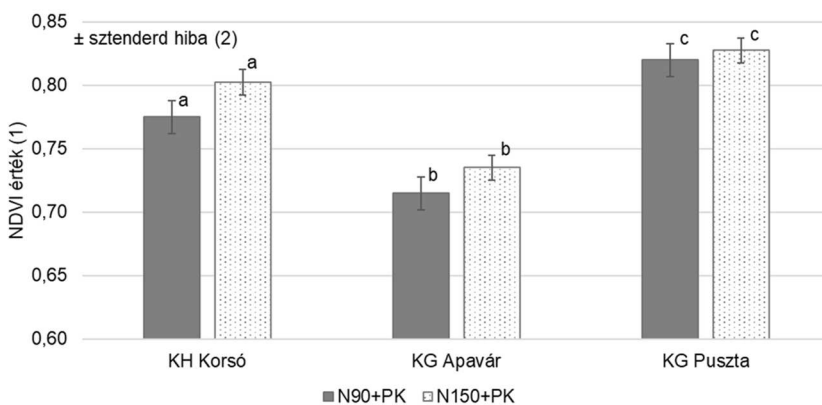
A betakarítást Sampo Rosenlew SR 2010-es parcellakombájnnal végeztük. A kombájnból minden parcellából 2 kg-os mintát vettünk, és Pfeuffer Granolyser NIR (Pfeuffer, Németország) berendezéssel határoztuk meg a betakarított szemek nedvesség- és fehérjetartalmát.

A kísérleti eredmények adatait az IBM SPSS 26.0 (IBM Corp. USA) statisztikai szoftvercsomaggal elemeztük és értékeltük az átlagok összehasonlításához GLM-modellt, a lineáris összefüggések teszteléséhez Pearson-féle korrelációanalízist (2-oldalú) alkalmazva. MS Excel 2016 szoftvert használtunk a termés- és minőségstabilitás lineáris regressziós függvényeinek, illetve a megvilágítási görbék természetes logaritmus regressziós függvényeinek kiszámításához és ábrázolásához.

Eredmények

A nagyobb nitrogénadag összességében szignifikánsan nagyobb NDVI értékeket eredményezett az őszi árpában a vizsgált években, a különbség azonban nem minden mérési időpontban és fajtánál volt szignifikáns (1. ábra).

1. ábra. Az árpafajták NDVI értékei (BBCH 47–49) eltérő nitrogén adagok hatására (Látókép, 2021)

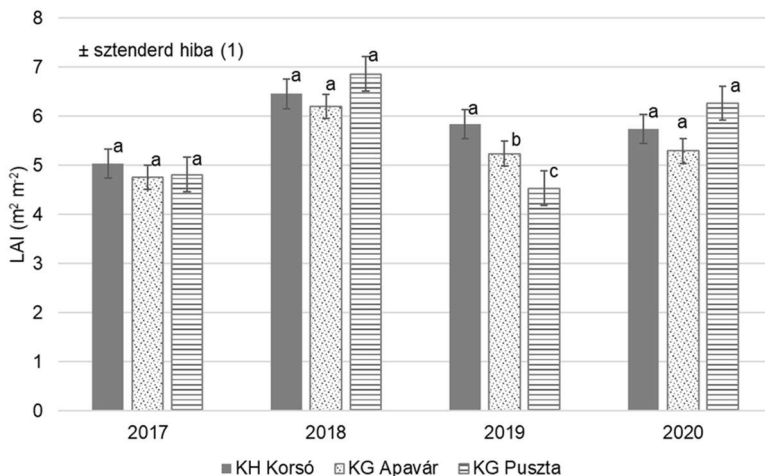


Megjegyzés: az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek p=5% szinten a fajták között.

Figure 1. NDVI values (BBCH 47–49) of barley varieties under different nitrogen application rates (Látókép, 2021). (1) NDVI values, (2) ± standard error, Note: different letters indicate significantly different values between varieties at the p=5% level.

A fajták között minden esetben p=5%-os szignifikancia szinten eltérést mértünk a hat év alatt. A levélterület index értékeit elemezve megállapíthatjuk, hogy a fajták növekedési üteme eltérő, a LAI változása a tenyészidőszakban eltérően alakul a különböző fajták esetében. A maximális LAI értékre az évjáratok hatása igen nagy, és a fajták között szignifikáns eltérést csak 2019-ben tapasztaltunk. A többi évben a különbség nem érte el a statisztikailag igazolható szintet a fajták között (2. ábra).

2. ábra. Az árpaajták maximális LAI értékei az eltérő évjáratokban (Látókép, 2017–2020)

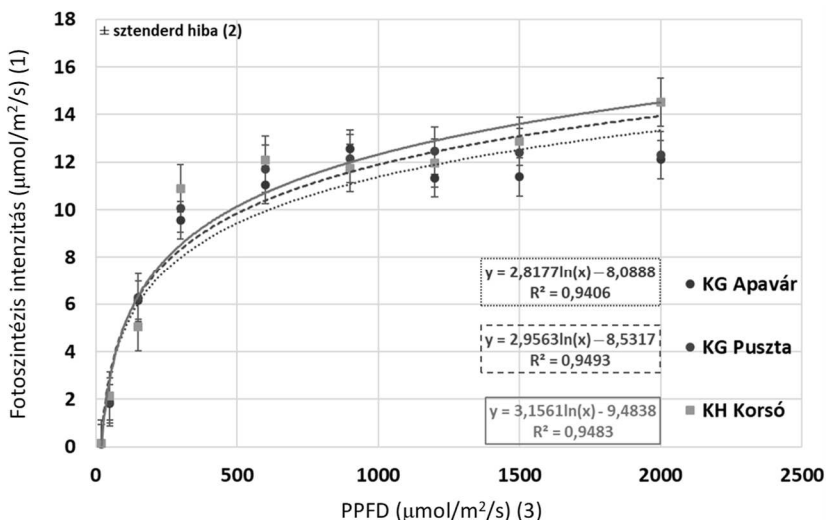


Megjegyzés: az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek p=5% szinten a fajták között.

Figure 2. Maximum LAI values for barley varieties in different crop years (Látókép, 2017–2020). (1) \pm standard error, Note: different letters indicate significantly different values between varieties at the p=5% level.

A vizsgálatok során felvételeztük a fajták megvilágítási görbéit kilenc lépésben, csökkenő fotonfluxus-sűrűséggel. Amint a 3. ábra mutatja, fajták asszimilációs rátája hasonló volt az alacsony PPFD-szinteken, de a magasabb fényszinteken különbségek mutatkoztak. A természetes logaritmikus regressziós függvények jól illeszkedtek a mért adatpontokhoz ($R^2=0,9406-0,9493$). Az asszimilációs ráta nem különbözött szignifikánsan a fajták között az eltérő PPFD-szinteken, de a páronkénti összehasonlítás néhány esetben statisztikailag igazolt eltérést mutatott. A legmagasabb értékeket a KH Korsó, a legkisebbet a KG Apavár adta. A KG Apavár görbéje minden megvilágítási szinten alacsonyabban futott, mint a másik két fajtáé. Az összes árpaajtá fotoszintézis intenzitása $300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PPFD szint alatt gyorsan csökkent, de még $50 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PPFD mellett is mérhető volt ($1,81-2,14 \mu\text{mol CO}_2/\text{m}^2/\text{s}$). $900 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ fényintenzitás felett a görbék meredeksége jelentősen csökkent, ami a fotorespiráció asszimilációs rátára gyakorolt hatásának tudható be (3. ábra).

3. ábra. Az árpafajták fotoszintézis intenzitásának változása a megvilágítás hatására (Látókép, 2020)

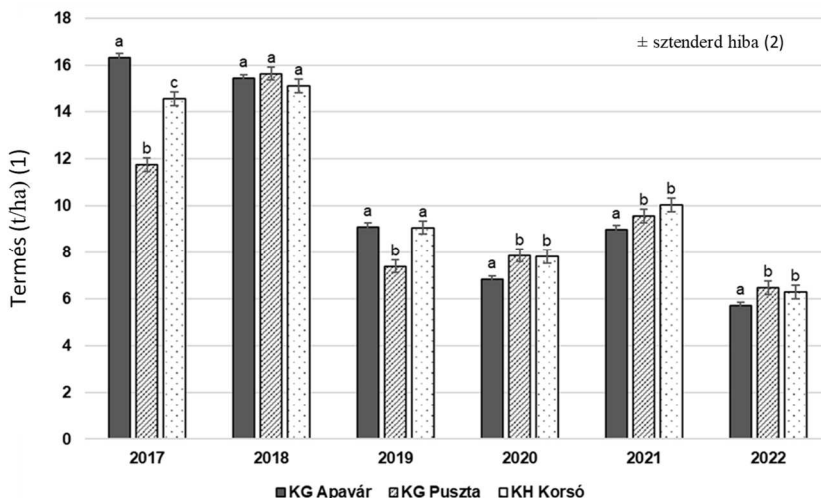


Megjegyzés: PPFD - Photosynthetic Photon Flux Density.

Figure 3. Changes in photosynthetic intensity of barley varieties in response to lighting (Látókép, 2020). (1) Photosynthetic intensity ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), (2) \pm standard error, (3) Photosynthetic Photon Flux Density ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), Note: PPFD - Photosynthetic Photon Flux Density.

A terméseredményeket figyelembe véve megállapíthatjuk, hogy a fajták eltérően reagáltak az egyes évjáratok időjárási feltételeire (4. ábra). A legnagyobb termést 2017-ben és 2019-ben a KG Apavár adta (16,33 és 9,11 t/ha), 2018-ban, 2020-ban és 2022-ben a KG Puszta (15,63, 7,87, 6,47 t/ha), 2021-ben a KH Korsó (10,05 t/ha). A két N-trágyázási szint között (N90+PK, N150+PK) szignifikáns különbséget mértünk az egyes években a fajták átlagában. A nagyobb N-adag azonban nem minden évben növelte a termést mindegyik fajta esetében. A KG Apavár fajtánál 2019-ben és 2020-ban, a KG Puszta fajtában 2019, 2020, 2021. évben, a KH Korsó esetében 2017–2019-ben és 2022-ben termésdepressziót okozott (2. táblázat). A kijuttatott tápanyag hasznosulás szoros összefüggésben van a vízellátottsággal, de a fajták reakciója a vízhiányos időszakokra eltérő volt.

4. ábra. Az árpaajták termése
(Látókép, 2017–2022)



Megjegyzés: az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek p=5% szinten a fajták között.

Figure 4. Yield of barley varieties (Látókép, 2017–2022). (1) Yield (t ha⁻¹), (2) ± standard error, Note: different letters indicate significantly different values between varieties at the p=5% level.

A fajták termésstabilitásának vizsgálatához a hat év terméseredményére lineáris modellt, becslő egyenletet illesztettünk. A modellek jól illeszkednek az adatokhoz, az R^2 értéke 0,8577–0,9851 között változott. Az 5. ábrán látható, hogy a KG Puszta termése volt a legstabilabb a vizsgált hat év adatai alapján, a fajtahoz tartozó egyenes meredeksége volt a legkisebb ($b=0,7601$). A változó környezeti feltételekre legérzékenyebben a KG Apavár reagált, az egyenes meredeksége itt volt a legnagyobb ($b=1,0557$). A KH Korsó fajta stabilitása a KG Puszta és a KG Apavár közé esett a vizsgált időszakban ($b=0,8481$), de a termés mennyisége egészen a 12,2 t/ha termésszintet lehetővé tevő feltételekig a többi fajta fölött volt.

A fehérjetartalom genetikailag nagymértékben determinált a növényekben, de a környezet is befolyásolja. Kísérletünkben is igazoltuk az évjárat módosító hatását az árpa fehérjetartalmára, de a fajták reakciója eltérő volt (6. ábra).

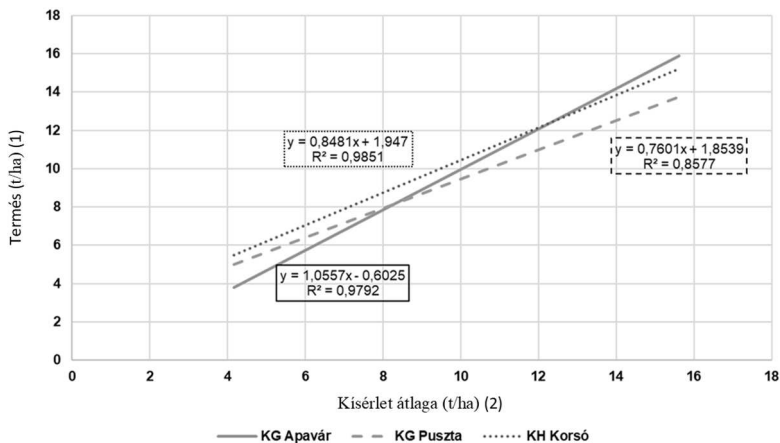
2. táblázat. A nitrogén-ellátás hatása az őszi árpafajták termésére (kg/ha)
(Látókép, 2017–2022)

Év (1)	N90 +PK	N150 +PK	Terméskülönbség (2)
KG Apavár			
2017	7010,0	7835,6	825,6*
2018	6750,2	7288,4	538,2*
2019	9259,1	8967,4	-291,7*
2020	6854,0	6827,4	-26,6
2021	8517,3	9490,7	973,4*
2022	5650,3	5786,1	135,8
KG Pusztta			
2017	5142,9	5541,2	398,2*
2018	7010,3	7835,6	825,3*
2019	7536,7	7258,0	-278,7*
2020	7235,6	8508,8	1273,3*
2021	9805,9	9324,4	-481,4*
2022	6493,9	6444,5	-49,4
KH Korsó			
2017	6664,2	6582,3	-81,9
2018	6983,4	6756,8	-226,6
2019	9140,2	9014,4	-125,8
2020	7158,0	7890,4	732,4*
2021	9538,5	9882,1	343,6*
2022	6391,6	6206,8	-184,8

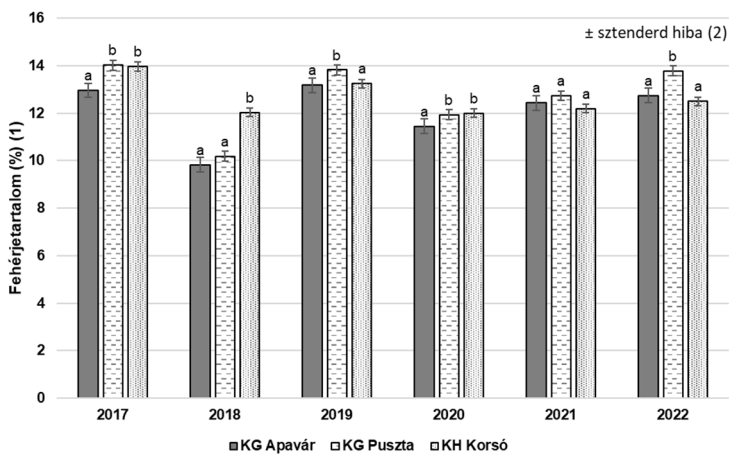
Megjegyzés: * a különbség szignifikáns a tápanyagkezelések között p=5% szinten.

Table 2. Effect of nitrogen supply on the yield of winter barley varieties (kg ha⁻¹) (Látókép, 2017–2022). (1) Years, (2) Yield difference, Note: * the difference is significant between fertiliser treatments at the p=5% level.

5. ábra. Az árpafajták termésstabilitása (Látókép, 2017–2022)

Figure 5. Yield stability of barley varieties (Látókép, 2017–2022). (1) Yield (t ha⁻¹), (2) Experiment average (t ha⁻¹)

6. ábra. Az árpafajták fehérjetartalma a trágyakezelések átlagában (Látókép, 2017–2022)



Megjegyzés: az eltérő betűk szignifikánsan eltérő értékeket jelölnek p=5% szinten a fajták között.

Figure 6. Average protein content of barley varieties in fertiliser treatments (Látókép, 2017–2022). (1) Protein content (%), (2) ± standard error, Note: different letters indicate significantly different values between varieties at the p=5% level.

A fehérjetartalom stabilitását vizsgálva megállapítható, hogy a kiszámított lineáris függvények illeszkedése gyengébb, mint a termés esetében ($R^2=0,1639-0,6899$). A KH Korsó fehérjetartalma változott a legkevésbé a környezeti feltételek hatására, ennek a fajtának volt a legjobb a fehérjestabilitása ($b=0,5459$), nagy fehérjetartalom mellett (7. ábra). Legkevésbé stabil a KG Pusztá volt, az illesztett egyenes meredeksége itt volt a legnagyobb ($b=1,5599$). A KG Apavár a másik két fajta közé tehető fehérjestabilitás tekintetében, relatíve kicsi fehérjetartalom mellett.

7. ábra. Az árpafajták fehérjetartalmának stabilitása (Látókép, 2017–2022)

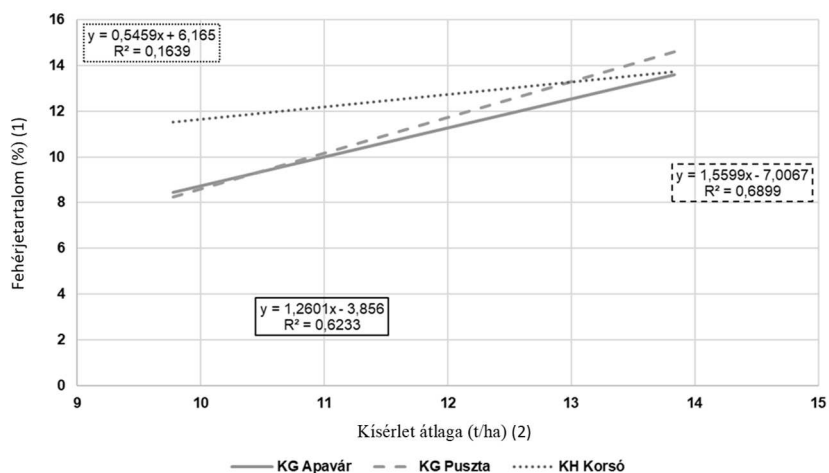


Figure 7. Stability of the protein content of barley varieties (Látókép, 2017–2022). (1) Protein content (%), (2) Experiment average ($t\ ha^{-1}$)

Következtetések

A vizsgált fajták közül extenzív termesztési körülmények között a KG Pusztá és KH Korsó javasolható, közepes vagy jó feltételek közé a KG Apavár fajta ajánlott termesztésre.

IRODALOM

Ahmed, I. M.-Nadira, U. A.-Zhang, G.-Wu, F.: 2016. Exploration and Utilization of Drought-Tolerant Barley Germplasm. Academic Press. 115–152.

- Al-Ajlouni, Z.–Al-Abdallat, A.–Al-Ghzawi, A. L.–Ayad, J.–Abu Elenein, J.–Al-Quraan, N.–Baenziger, P.*: 2016. Impact of Pre-Anthesis Water Deficit on Yield and Yield Components in Barley (*Hordeum vulgare* L.) Plants Grown under Controlled Conditions. *Agronomy*. 6: 33. 10.3390/agronomy6020033.
- Bertholdsson, N. O.*: 2013. Screening for Barley Waterlogging Tolerance in Nordic Barley Cultivars (*Hordeum vulgare* L.) Using Chlorophyll Fluorescence on Hydroponically- Grown Plants. *Agronomy Journal*. 3. doi: 10.3390/agronomy 30x0000x.
- Carter, A. C.–Hawes, M. C.–Ottman, M. J.*: 2019. Drought-Tolerant Barley: I. Field Observations of Growth and Development. *Agronomy*. 9: 5: 221.
- Csajbók, J.–Kutasy, E.*: 2018 Results of N supply and plant protection testing experiment on winter barley varieties. [In: Kende, Z. (ed.) 17th Alps-Adria Scientific Workshop – Abstract book.] Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó. Gödöllő. 134–135.
- Degl'Innocenti, E.–Hajsi, C.–Guidi, L.–Navari-Izzo, F.*: 2009. The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. *J. Plant Physiol*. 166: 1968–1981.
- Doré, T.–Makowski, E. M.–Munier-Jolain, N.–Tchamitchian, M.–Tittonell, P.*: 2011. Facing up to the paradigm of ecological intensification in agronomy: revisiting methods, concepts and knowledge. *Eur. J. Agron*. 34: 197–210.
- Drew, M. C.*: 1975. Comparison of the effects of a localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium on the growth of the seminal root system, and the shoot, in barley. *New Phytol*. 75: 479–490.
- Giraldo, P.–Benavente, E.–Manzano-Agugliaro, F.–Gimenez, E.*: 2019. Worldwide Research Trends on Wheat and Barley: A Bibliometric Comparative Analysis. *Agronomy*. 9: 352.
- Godfray, H. C. J.–Beddington, J. R.–Crute, I. R.–Haddad, L.–Lawrence, D.–Muir, J. F.–Pretty, J.–Robinson, S.–Thomas, S. M.–Toulmin, C.*: 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 12 Feb 2010. 812–818.
- Kádár I.–Csathó P.*: 2013. N-Cu kölcsönhatások szabadföldi tavaszi árpa kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*. 62: 345–358.
- Kovačević, J.–Mazur, M.–Lalić, A.–Josipović, M.–Josipović, A.–Kočar, M. M.–Marković, M.–Antunović, J.–Cesar, V.*: 2015. Photosynthetic performance index in early stage of growth, water use efficiency, and grain yield of winter barley cultivars. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 75: 3.
- Lopes, M. S.–Nogués, S.–Araus, J. L.*: 2004. Nitrogen source and water regime effects on barley photosynthesis and isotope signature. *Funct. Plant Biol*. 31: 995–1003.
- Newton, A. C.–Flavell, A. J.–George, T. S.*: 2011. Crops that feed the world 4. Barley: a resilient crop? Strengths and weaknesses in the context of food security. *Food Sec*. 3: 141.

- Perry, E. M.–Fitzgerald, G. J.–Nuttall, J. G.–O’Leary, G. J.–Schulthess, U.–Whitlock A.:* 2012. Rapid estimation of canopy nitrogen of cereal crops at paddock scale using a Canopy Chlorophyll Content Index. *Field Crops Res.* 134: 158–164.
- Robredo, A.–Pérez-López, U.–Sainz de la Maza, H.–González-Moro, B.–Lacuesta, M.–Mena-Petite, A.–Muñoz-Rueda, A.:* 2007. Elevated CO₂ alleviates the impact of drought on barley improving water status by lowering stomatal conductance and delaying its effects on photosynthesis. *Environm. and Exp. Botany.* 59. 3: 252–263.
- Sallam, A.–Alqudah, A. M.–Dawood, M. F. A.–Baenziger, P. S.–Börner, A.:* 2019. “Drought Stress Tolerance in Wheat and Barley: Advances in Physiology, Breeding and Genetics Research.” *International Journal of Molecular Sciences.* 20. 13: 31–37.
- Siebrecht, S.–Mäck, G.–Tischner, R.:* 1995. Function and contribution of the root tip in the induction of NO₃⁻ uptake along the barley root axis. *J. Exp. Bot.* 46: 1669–1676.
- Tittonell, P.:* 2014. Ecological intensification of agriculture – sustainable by nature. *Curr. Opin. Environ. Sustain.* 8: 53–61.
- Zheng, Y.–Mai, B.–Wu, R.–Feng, Y.–Sofa, A.–Ni, Y.–Xu, J.:* 2011. Acclimation of winter wheat (*Triticum aestivum*, cv. Yangmai 13) to low levels of solar irradiance. *Photosynthetica.* 49: 426–434.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Csajbók József – Dr. Kutasy Erika
DE MÉK Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*csj@agr.unideb.hu

A Debreceni Egyetem agrár kampuszán folyó növénytermesztési kísérletek meteorológiai viszonyainak elemzése 2021-ben

^{1,2}GOMBOS BÉLA – ¹NAGY JÁNOS

¹Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²MATE KÖTI, Öntözésfejlesztési és Meliorációs Tanszék, Szarvas

Összefoglalás

Debrecen belterületén a Debreceni Egyetem agrár kampuszán folyó kukorica kísérletek meteorológiai viszonyai speciálisak, ezért a tenyészidőszak agrometeorológiai értékelését a helyi időjárási adatokra alapozva végeztük el.

Tavasszal a talajelőkészítéshez és a vetéshez kedvező volt az időjárás, a talaj mélyebb rétegeinek kezdeti vízkészlete is megközelítette a szántóföldi vízkapacitás értékét. Áprilisban és májusban végig az évszakhoz képest hűvös időjárás uralkodott. A korai vetések kelése 3-4 hétig is elhúzódott majd a kukorica lassan fejlődött, a májusban lehullott csapadék még biztosította a növény megfelelő vízellátottságát. Júniusban határozott fordulat következett be az időjárás jellegében. A nyár első hónapjában napsütésben gazdag, az átlagosnál lényegesen melegebb időjárás uralkodott, mindez igen kevés csapadékkal társulva. A jelentős csapadékhiány hatására a hónap végére fokozatosan súlyos aszály alakult ki, ami júliusban is folytatódott. Szerencsésen, éppen a virágzás idején két jelentős záporból lehullott 44 mm csapadék, ez – legalábbis lokálisan és átmenetileg – enyhítette a vízhiányt. Július végétől augusztus közepéig ismét kánikulai időjárás uralkodott. A termés szempontjából nagy jelentőségű szemtelítődési időszakban nem esett olyan csapadék, ami érdemben hozzájárult volna a növények vízellátottságához.

A térségben a 2021-es tenyészcím fő meghatározója az igen meleg, száraz nyár, ami súlyos aszály kialakulásához vezetett. Megállapítható azonban, hogy lokálisan – így az agrár kampusz területén is – helyi, jelentős záporok hatására a virágzás idején átmenetileg jobb volt a kukorica vízellátottsága, mint általában a térségben.

Kulcsszavak: Debrecen, agrometeorológia, aszály, csapadék, középhőmérséklet

Analysis of the meteorological conditions of crop experiments on the agricultural campus of the University of Debrecen in 2021

^{1,2}B. GOMBOS – ¹J. NAGY

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

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

²MATE KÖTI, Department of Irrigation Development and Melioration, Szarvas

Summary

The meteorological conditions of the maize experiments at the agricultural campus of the University of Debrecen in the inner area of Debrecen are specific, therefore the agrometeorological evaluation of the growing season was based on local weather data.

In spring, the weather conditions were favourable for soil preparation and sowing, and the initial water availability in the deeper soil layers was close to the field water capacity. Throughout April and May the weather was cool for the time of year. Early sowings were delayed for 3–4 weeks and maize developed slowly, while the rainfall in May ensured that the crop had sufficient water. June saw a marked change in the weather pattern. During the first month of summer, the weather was sunny and much warmer than average, with very little rainfall. This significant lack of rainfall gradually led to a severe drought towards the end of the month, which continued into July. Fortunately, two major rainstorms during the flowering period brought 44 mm of rainfall, which at least locally and temporarily alleviated the water shortage. From

the end of July to mid-August, the weather returned to the heatwave. During the harvest period, which is of great importance for the crops, there was no rainfall that would have contributed significantly to the water supply of the crops.

The main feature of the 2021 growing season in the region was a very hot, dry summer, which led to a severe drought. However, it can be noted that locally, including in the agricultural campus area, local, significant rainfall during flowering temporarily improved the water availability of maize compared to the region in general.

Keywords: Debrecen, agrometeorology, drought, precipitation, mean temperature

Bevezetés

A tenyészidőszak időjárása közvetlen hatást gyakorol a kukorica fejlődésére, termésére, míg az ezt megelőző időszak közvetett hatása elsősorban a talajon keresztül érvényesül. A vetés előtti időjárás, lényegében az egész téli félév szerepe is jelentős lehet. Elsősorban a tenyészidőszak kezdetére kialakuló talajnedvességi állapot a fontos, azaz, hogy milyen mértékben töltődtek fel vízzel a talajok. A feltöltődés rendszerint már az őszi időszakban megkezdődik, télen folytatódik, akár még márciusban is. Az egyes években ettől lehetnek eltérések, hiszen az egyes hónapok csapadéka rendkívül szeszélyesen alakulhat. A csapadék mellett a vízmérleg fő kiadási tagjával, a párolgással kell számolni, amit (a potenciális értékét) a hőmérséklet, a szél és a napsugárzás együttesen határoz meg. A havi csapadékösszegek minimuma minden hónapban 10 mm alatti, a maximuma többnyire 100 mm feletti. Debrecenben az utóbbi 50 évben a szélsőségek a következőképpen alakultak: október (1-145 mm), november (0-107 mm), december (0-104 mm), január (6-84 mm), február (0-107 mm), március (2-119 mm) (*Net1*). A téli félévben a teljes párolgás általában kisebb változékonyságot mutat, mint a csapadékösszeg. A vetéshez, keléshez szükséges a megfelelő talajnedvesség állapot. Hiányos kelésre számíthatunk, ha túl száraz a magágy, sok csapadék esetén pedig későbbre tolódhat a vetés. A téli félév hőmérsékleti viszonyai meghatározzák a mélyebb talajrétegek hőmérsékletét, ami hatást gyakorol a felsőbb rétegekre is, közvetve befolyásolja a csírázási-kelési folyamatot. Hideg

talajokban nem indul meg a csírázás, illetve csak igen lassan, a kelés vontatott lesz.

A tenyészidőszak időjárása közvetlen hatást gyakorol a növényekre. Erős pozitív korrelációt talált a vegetációs időszak csapadékösszege és a debreceni kísérletek termésátlaga között (Nagy 2012). A fenológiai fejlődés során változik az egyes meteorológiai elemek jelentősége. A kukorica kezdeti fejlődése alatti hideg időjárás lassítja a növekedést. Ekkor a csapadékhány általában nem jelent problémát (ha megfelelő volt a kelés). Május és június a vegetatív fejlődés időszaka. A csapadékos időjárás kedvező, nagyobb a tömeggyarapodás, azonban a száraz időjárás sem okoz irreverzibilis károsodást. Ebben az is szerepet játszik, hogy ekkor a növény gyökérzetének növekedésével a mélyebben levő talajrétegek nedvességtartalma is felvehetővé válik. Igen száraz (lényegében csapadékmentes) júniusi időjárás önmagában nem csökkenti a termésátlagot az átlagos érték alá (Gombos és Nagy 2019). A termés szempontjából kritikus periódus a címerhányást közvetlenül megelőző időszakról a szemtelítődés középső szakaszáig tart (Nielsen *et al.* 2010). Magyarországon a július 15.-augusztus 15. közötti időszak vízellátottsága a meghatározó Megyes *et al.* (2000) szerint. A virágzás idején, illetve azt megelőzően jelentkező vízhiány szemszám csökkenést okoz. A terméskötés után bekövetkező szárazság pedig kisebb ezerszemtömeghez vezet (Westgate és Boyer 1986, Smith *et al.* 2004). Az érés kezdeti szakaszában még fontos a jó vízellátottság, de az érés előre haladtával ennek csökken a jelentősége. A szemnedvesség csökkenése napos, szeles, száraz, meleg időben a legintenzívebb. A csapadékos időjárás ekkor kedvezőtlen.

A csapadék területi eloszlás igen heterogén a závorszerű csapadékok esetében. Egyedi csapadékesemények esetében nem ritka a 2 mm/100 m gradiens, ami 200–300 m távolságban már számottevő, 5 mm-es eltérést jelenthet. Szántóföldi növénytermesztési kísérleteknél ezért fontos a helyben történő csapadékmérés (Gombos és Hudák 2020), ez elsősorban a tenyészidőszakra igaz. A téli félévben a csapadék lényegesen kiegyenlítettebb, ekkor megfelel a közeli meteorológiai állomás adatának felhasználása is. A saját mérés akkor célszerű, ha a mérőeszközünk kellő pontosságú a hócsapadék mérésében is. Ez elsősorban pontos mérőeszköz kérdése, másrészt a megfelelő elhelyezése. Túlságosan nyílt elhelyezésnél igen jelentős lehet a hó formájában hulló csapadék mérésének hibája, mivel az erős szélben a felfogórészben kialakuló

légörvények alulmérést okoznak (Goodison et al. 1998, WMO 2008). A hőmérsékletet célszerű a standard meteorológiai állomásokra vonatkozó környezeti feltételek mellett mérni (hőmérők elhelyezése rövidre nyírt fűfelszín felett, az épületektől, mesterséges felszínburkolatoktól előírt távolságban, stb.). A WMO II. osztályú állomások esetében az előírt távolság 30 m, amin belül csak 10% arányban lehetnek a hőforrásoknak tekinthető mesterséges felszínek, falak. Az I. osztályú elhelyezés kategóriái ennél szigorúbbak (100 m-es távolság), agrometeorológiai célokhoz nem szükséges ezt elérni (WMO 2008).

Az Országos Meteorológiai Szolgálat állomásai jól reprezentálják környezetüket, azaz a legközelebbi állomás hőmérsékleti adatai felhasználhatók, amennyiben a növénytermesztési területünknek nincs speciális mikro- vagy mezoklíma (mélyfekvésű, felszíni vizek közelében, erdős terület, városi hősziget hatása stb.).

A hőmérséklet mérésénél kifejezetten fontos az érzékelő pontossága, hiszen pl. 0,5 °C-os szisztematikus hiba a havi és évi középhőmérsékletben is ugyanekkora mértékben megjelenik. Elvárható az érzékelő 0,2 °C-os pontossága. Ez önmagában nem elég, a hőmérő árnyékolója a másik kritikus tényező.

Mindezek figyelembe vételével állítottuk össze a mérési programot. Az így létrejövő meteorológiai adatbázis alkalmas és ajánlott a speciális – városon belüli – elhelyezkedésű Debreceni Egyetem agrár kampusz területén folyó növénytermesztési kísérletek agrometeorológiai jellegű elemzéseikhez.

Anyag és módszer

A Debreceni Egyetem agrár kampusz területén több hektáros szántóföldi, illetve kertészeti kísérleti területek helyezkednek el (47° 55' N, 21° 60' E, 121 m tengerszint feletti magasság). Ezek egyikén a szántó mellett jelentős arányban rendszeresen kaszált gyepfelület is található, továbbá kellő távolság (30 m) a legközelebbi burkolt felülettől, épülettől, ezzel a WMO hőmérsékletmérési előírásainak megfelelő (II. osztály) feltételeket biztosítva. A hőmérsékletet HOBO Pro v2 U23-002 típusú, nagy pontosságú adatgyűjtővel regisztráltuk (pontosság: $\pm 0,21$ °C, felbontás: 0,02 °C). A tenyészidőszakban (április 1-től szeptember 30-ig) ugyanitt más nagy

pontosságú csapadék- és szélmérés, valamint a rövid- és hosszúhullámú sugárzási mérleg egyes komponenseinek mérése is folyamatosan történt. A tenyészidőszakon kívül (október–március) a helyszínen csupán a hőmérséklet mérése folyt. A téli félévben q csapadék viszonylag homogén eloszlású, így a 3 km-re ÉÉNY-i irányban lévő OMSZ Kismacsi Állomás adatait használtuk erre az időszakra. A napsugárzási viszonyokat a mezőgazdák által preferált napfényes órák számával mutattuk be, mely adatok az OMSZ Debrecen Repülőtér meteorológiai állomásának méréseiből származnak.

Korábbi vizsgálatainkban a tenyészidőszakban elsődlegesen havi, majd dekád bontásban értékeltük a hőmérsékleti és csapadékviszonyokat (*Gombos és Nagy 2019*). A dekád hőmérséklet esetében az anomália, a csapadék esetében a tényleges értékek elemzése volt célravezetőbb, a grafikus megjelenítésnél ezért ezeket alkalmaztuk. Az időjárás viszonyok alakulásának részletes bemutatásához felhasználtuk a csapadékot, valamint a középhőmérséklet, és a minimum és maximum hőmérséklet napi adatait is. A kukorica fenofázisonként változó éghajlati igényének, illetve a kritikus tényezőinek figyelembe vételével értékeltük a 2021-es év tenyészidőszakának meteorológiai viszonyait. A tenyészidőszakot megelőző téli félév időjárását az előzőekben bemutatott okok miatt kevésbé részletesen, havi felbontású adatbázis alapján vizsgáltuk.

Eredmények és értékelés

A 2020/21-es téli félév időjárása

Összességében vizsgálva a tenyészidőszakot megelőző téli félév időjárását megállapítható, hogy mind a középhőmérséklet, mind a csapadékösszeg kissé a sokévi átlag felett alakult. A hat hónap alatt lehullott 234 mm csapadék 20 mm-rel (8%-kal) az átlagos érték feletti (*1. táblázat*). Csapadékos volt az október (72 mm) és a január (49 mm), kevés csapadék hullott novemberben (18 mm) és márciusban (19 mm). A talaj felső 1 m-es rétege már a tél végére telítődött a szántóföldi vízkapacitásáig. Ez részben a 2020-as csapadékos nyárnak köszönhető, mivel ekkor az átlagosnál kevésbé száradtak ki a talajok. A február végétől márciusban is végig jellemző száraz időjárás következtében a szokásostól korábban elindult a legfelső rétegek határozott száradása. A téli félév középhőmérséklete 0,8 °C-kal a sokévi átlag felett alakult. A november és a március a szokásostól nem tért el lényegesen, viszont az október és

mindhárom téli hónap számottevő pozitív hőmérsékleti anomáliát mutatott. A napsütéses órák száma az 622 óra volt, 52 órával elmaradva a sokévi átlagtól.

1. táblázat. *A hőmérséklet, a csapadék (Debrecen agrár kampusz) és a napfénytartam (Debrecen Repülőtér, OMSZ) havi és féléves jellemzői*

Időszak (1)	Közép- hőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)	Napfénytartam (óra) (4)
Téli félév (X-III) (5)	5,0 (+0,8)	234(+20)	622 (-52)
Nyári félév (IV-IX) (6)	17,9 (+0,4)	233 (-113)	1561 (+45)
Április (7)	8,8 (-2,4)	33 (-20)	178 (-36)
Május (8)	14,8 (-1,8)	66 (+2)	243 (-7)
Június (9)	22,3 (+3,0)	6 (-60)	364 (+95)
Július (10)	24,6 (+3,3)	70 (+4)	298 (+12)
Augusztus (11)	20,9 (+0,1)	38 (-11)	258 (-31)
Szeptember (12)	16,2 (0)	19 (-29)	220 (+12)

Megjegyzés: zárójelben az 1981–2010-es időszak átlagértékeitől való eltérések.

Table 1. Monthly (and half year) characteristics of air temperature, precipitation at Debrecen agricultural campus and sunshine duration (Debrecen Airport, HMS). (1) Period, (2) Mean temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Sunshine duration (hours), (5) Winter period, (6) Summer period, (7) April, (8) May, (9) June, (10) July, (11) August, (12) September, Note: in brackets the differences from the climatic normal values of 1981–2010.

A 2021-es tenyészidőszak időjárása

A tenyészidőszak 17,9 °C-os középhőmérséklete az átlagosnál csak kissé volt magasabb (+0,4 °C), mindez azonban jelentős szélsőségeket takar. Az időszak első két hónapját az évszakhoz képest hűvös időjárás jellemezte. Április elejétől május végéig viszonylag egyenletesen és folyamatosan jelentős negatív hőmérsékleti anomália jellemezte az időjárást (1. ábra). Ennek ellentéte volt a nyár első két hónapja, amikor többnyire igen meleg időjárás uralkodott. A tenyészidőszak vége hőmérsékleti szempontból a szokásosnak közel megfelelően alakult. A kukorica 2021-es tenyészidőszakában a sokévi átlagos csapadéknak csupán 2/3-ad része, 233 mm hullott, ami 113 mm-es deficitet jelent. A csapadék két hónapban érte el a sokévi átlagot (május,

július), a többiben elmaradt attól, sőt júniusban lényegében elhanyagolható mennyiségű csapadék hullott (6 mm) (1. táblázat).

1. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2021 tenyészidőszakában (Debrecen agrár kampusz)

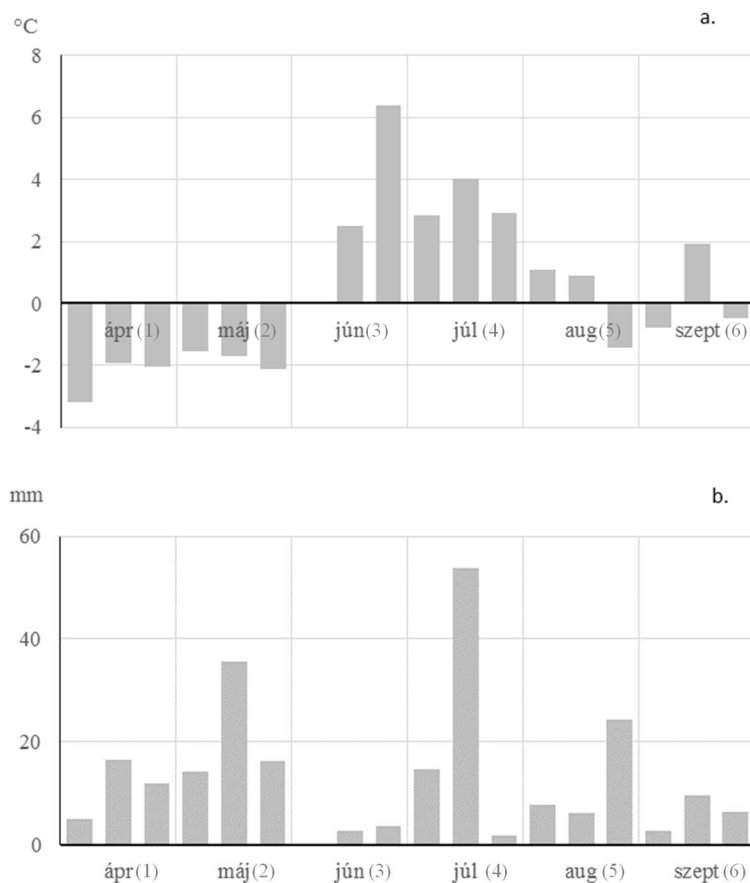


Figure 1. 10-day precipitation sums (b) and anomalies of the 10-day average air temperature values (a) in the growing season (Debrecen agricultural campus, 2021). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

2021. április

Az április hűvös, száraz és napfényben kissé szegény volt. A havi középhőmérséklet (8,8 °C) 2,4 °C-kal maradt el az átlagostól (1. táblázat). Utoljára ilyen hűvös április 1997-ben volt. A hónap első napján még 23 °C feletti hőmérsékletet lehetett mérni, de ezt követően jelentős lehűlés következett. A napi maximumok nem érték el a 10 °C-ot, a hajnali órákra pedig fagypontra alá csökkent a hőmérséklet, legmélyebbre 9-én -4,5 °C-ig. Ekkor több napon is esett, de csak kis mennyiségű csapadék. A hónap közepén pár napra megenyhült az idő, azután ismét visszaállt az évszakhoz képest hűvös időjárás, a lehűléshez csapadék is társult. A hónap utolsó dekádjában hűvös, de már fagymentes reggelek és többnyire a 13-20 °C-os tartományba eső maximumok jellemezték a hőmérsékleti viszonyokat (2. ábra).

2. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 áprilisában (Debrecen agrár kampusz)

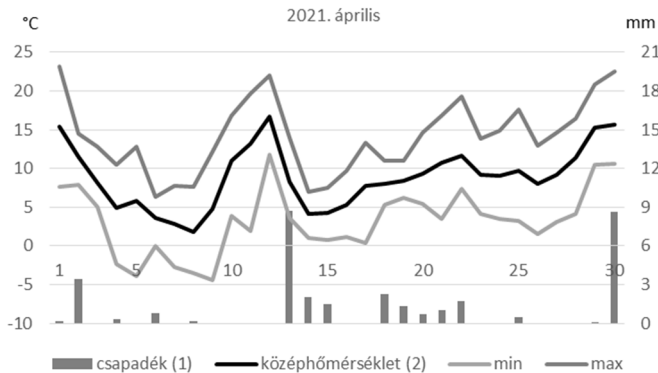


Figure 2. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in April 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

A száraz márciusi és áprilisi időjárás kedvezett a vetés előtti talajmunkáknak, a magágyat jó minőségben elő lehetett készíteni. Olyan mennyiségű eső, ami a vetést akadályozta volna, csak néhány napon fordult elő. Az utóbbi évekhez képest szokatlanul hűvös időjárás miatt a legkorábbi vetések (március 31.) is csak április végére keltek ki, néhány nappal megelőzve a hónap közepén vetett kukorica kelését.

2021. május

Ebben a hónapban folytatódott az évszakhoz képest hűvös időjárás, de már több csapadékkal. A havi középhőmérséklet 14,8 °C-os értéke közel 2 °C-kal elmaradt a sokévi átlagtól. A negatív anomália mindhárom dekádban közel azonosan alakult (1. ábra). A csapadék havi összege 66 mm, ami lényegében megegyezik a szokásos havi mennyiséggel. 13 napon hullott 1 mm-t meghaladó csapadék. A hónap középső dekádjában hullott a legtöbb eső. Gyakran volt a 15–20 °C tartományban a napi legmagasabb hőmérséklet, ami május közepén már kifejezetten hűvösnek számít. Nyáriasan meleg időjárás (25 °C feletti maximum) csak néhány napig volt (május 10–12.), 29,0 °C-os csúccsal. A minimumok kezdetben a 2–10 °C tartományban, majd 10 °C környékén ingadoztak (3. ábra).

3. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 májusában (Debrecen agrár kampusz)

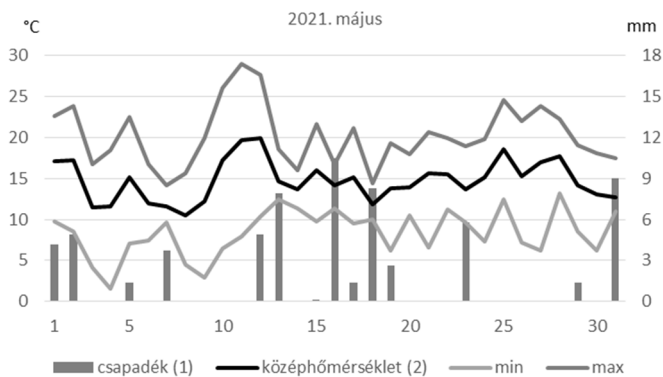


Figure 3. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in May 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

Megjegyezzük, hogy hasonlóan hűvös volt 2019 és 2020 májusa is, de akkor enyhébb volt az áprilisi időszak. Az április-május időszak együttes középhőmérséklete 30 év (1991) óta nem volt ilyen alacsony. A hűvös időjárás miatt a kukorica viszonylag lassan fejlődött, a hónap folyamán lehullott csapadék biztosította a növény megfelelő vízellátottságát.

2021. június

Júniusban határozott fordulat következett be az időjárás jellegében. A nyár első hónapjában napsütésben gazdag, az átlagosnál lényegesen melegebb időjárás uralkodott, mindez igen kevés csapadékkal társulva. A júniusi hőmérsékleti anomália +3,0 °C, kiemelten meleg volt a hónap utolsó dekádja (6,4 °C-kal melegebb az átlagnál, 1. ábra). Debrecenben 1871 óta csak két alkalommal fordult elő a 2021. júniusnál magasabb középhőmérséklet. A napsütéses órák száma 95 órával volt az e havi sokévi átlag felett. A 364 órás érték azt jelenti, hogy ebben a hónapban naponta átlagban közel 12,5 órát sütött a nap, ami igen magas érték. A hónap folyamán fokozatos, viszonylag egyenletes felmelegedés volt tapasztalható. A napi maximumok a hónap első felében (leszámítva az első néhány napot és június 13–14-et) 25–28 °C, ezt követően 30–35 °C között alakultak. A hőség napok (max≥30 °C) száma 10, és három alkalommal elérte a hőmérséklet a 35 °C-ot, 24-én a 36,6 °C értéket (4. ábra).

4. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 júniusában (Debrecen agrár kampusz)

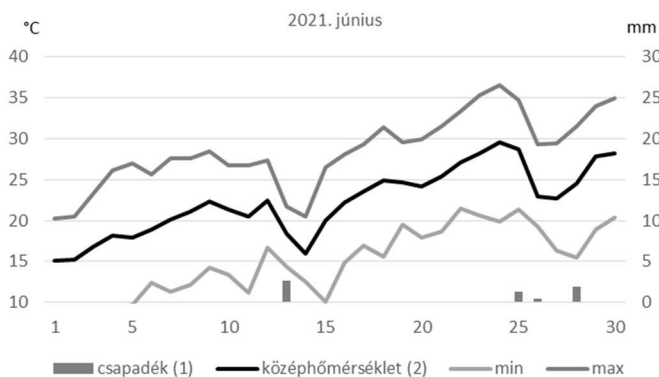


Figure 4. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in June 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

Csupán három napon fordult elő 1–3 mm csapadék, ami ilyen hőmérsékleti viszonyok mellett szinte azonnal elpárolgott, nem tudott hozzájárulni a kukorica vízellátásához. A havi 6 mm-es csapadékösszeg Debrecenben a

mérések kezdete óta legalacsonyabb érték. A jelentős csapadékhiány hatására a hónap végére fokozatosan súlyos aszályhelyzet alakult ki. A vízhiány és részben a magas hőmérséklet által okozott stressz károsan hatott a növény asszimilációjára, az állományok tömeggyarapodására, továbbá a magassági és a levélfelület növekedésére is.

2021. július

Igen meleg időjárás jellemezte a júliust is, amit jól jelez a 24,6 °C-os középhőmérséklet (3,3 °C-os pozitív anomália), ami a mérések kezdete óta a legmagasabb érték. Legmelegebb a középső dekád volt, de nem sokkal maradt el a másik két dekád pozitív anomáliája sem (1. ábra). A hónapban 19 napon haladta meg a maximum hőmérséklet a 30 °C-ot. A legmagasabb hőmérséklet pontosan megegyezett a júniusban mért maximummal (36,6 °C). A többi napon is jellemzően 25 °C feletti értékeket mérhettünk. A hőmérsékleti minimumok nagyon egységesen, többnyire 15–20 °C. között alakultak az egész hónapban (5. ábra).

5. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 júliusában (Debrecen agrár kampusz)

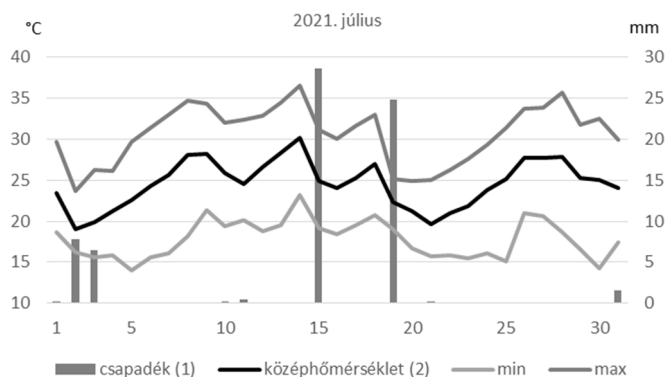


Figure 5. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in August 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

A csapadék (70 mm) összességében kissé meghaladta a sokévi júliusi átlagot. Ez lényegében két jelentős zápornak köszönhető, ami az agrár

kampusz területén 15-én és 19-én hullott (29 mm, illetve 25 mm). A júliusi 298 órás napfénytartam elmaradt a júniusi értéktől, de így is lényegesen átlag feletti (1. táblázat). A meleg időjárás következtében továbbra is gyors volt a kukorica fejlődése, a virágzás időpontja – a vetésidő függvényében néhány napos eltérés mutatva – július 14–19. időszakra esett. A hónap közepéig tartott a rendkívülinek nevezhető aszály, de éppen a virágzás idején a jelentős záporokból lehullott 44 mm csapadék – legalábbis lokálisan és átmenetileg – enyhítette a vízhiányt. Július végére visszatért a kánikula, csapadék nélkül.

2021. augusztus

Augusztus első felében is folytatódott az igen meleg időjárás, kisebb napi csapadékok is csak időnként fordultak elő (havi csapadék 38 mm), csupán a hőmérséklet tért vissza az átlagoshoz közeli tartományba. A hónap első felében a hőmérsékleti maximum még gyakran elérte a 30 °C-ot (kilenc hőség nap). Ezt követően fokozatosan csökkent a hőmérséklet és csak pár napra tért vissza a kánikula (6. ábra).

6. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 augusztusában (Debrecen agrár kampusz)

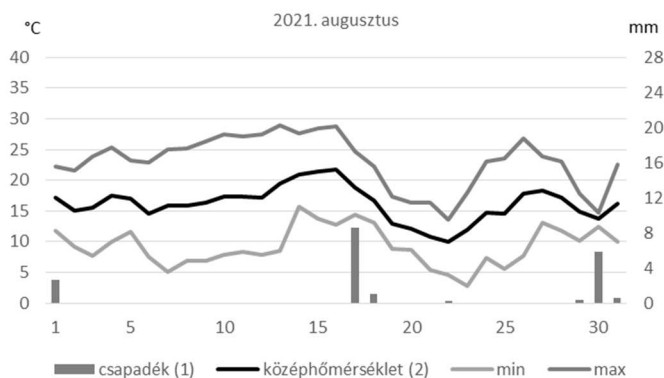


Figure 6. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in August 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

Az augusztus 20. utáni hűvösebb időszak következtében a sokévi átlag körül alakult a havi középhőmérséklet, ami 20,9 °C volt. A termés szempontjából nagy jelentőségű szentelítődési időszakban nem esett olyan csapadék, ami érdemben hozzájárult volna a növények vízellátottságához, az utolsó dekád 20 mm (2×10 mm) körüli mennyisége pedig ehhez már későn érkezett és egyébként sem volt számottevő.

2021. szeptember

Szeptemberben sem érkezett a talaj vízkészletét érdemben növelő csapadék. A hónapban összesen 19 mm csapadék esett, ami az átlagosnál 29 mm-el kevesebb, annak csupán mintegy 40%-a. A hőmérséklet nem mutatott lényeges eltérést az ilyenkor megszokotthoz képest és mentes volt a szélsőséges kilengésektől. A középhőmérséklet pontosan megfelelt a sokévi átlagnak. A hónap közepéig száraz, egyre melegedő idő volt, a kezdeti 22–25 °C után már a 25–28 °C körüli maximumok voltak jellemzők. Szeptember 20. környéki lehülés csak átmenetileg hozott ősziiesen hűvös időjárást (7. ábra).

7. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2021 szeptemberében (Debrecen agrár kampusz)

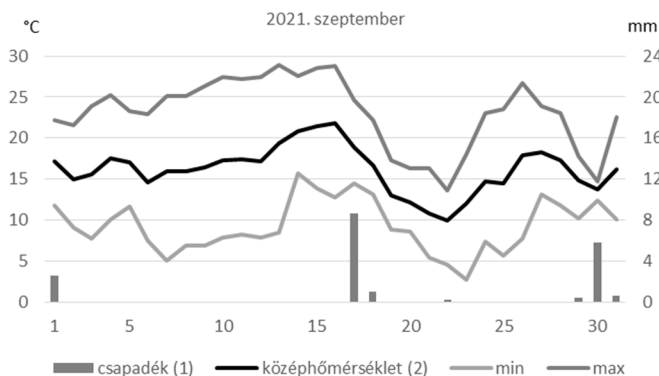


Figure 7. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in September 2021, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

A hónap időjárása összességében megfelelő feltételeket biztosított az éréshez, a szem vízleadásához, illetve száradásához. A kukorica a fiziológiai

érettség állapotát a vetésidőtől függően szeptember első felében érte el. A kísérleti területen a betakarításra a kedvező, munkát nem hátráltató időjárási viszonyok mellett jellemzően szeptember végén került sor.

Következtetések

A térségben a 2021-es tenyészév fő meghatározója az igen meleg, száraz nyár, ami súlyos aszály kialakulásához vezetett. A kukorica termésátlaga lényegesen elmaradt a korábbi évektől. Megállapítható azonban, hogy lokálisan – így az agrár kampusz területén is – helyi, jelentős záporok hatására a virágzás idején átmenetileg jobb volt a kukorica vízellátottsága, mint általában a térségben. A nyári félévre jellemző lokális nagycsapadékok, amelyek általában egy-egy heves zivatarhoz kapcsolódnak, képesek adott helyen lényegesen javítani a kukorica vízellátottságát, ezzel akár jelentősen is mérsékelve az aszálykárt. A konvektív jellegű csapadék nagyfokú területi heterogenitása miatt célszerű sűrűbb mérőhálózat létrehozása, illetve a kiemelt fontosságú területeken a helyi mérések megvalósítása.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Gombos, B.–Hudák, R.:* 2020. Results and limits of the measurements of a local low cost rain gauge network. [In: Györi et al. (szerk.) Chances and Challenges for the European Rural Development (2021–2027).] SZIE. Szarvas. 199–205.
- Gombos B.–Nagy J.:* 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. Növénytermelés. 68. 2: 5–23.
- Goodison, B. E.–Louie, P. Y. T.–Yang, D.:* 1998. WMO Solid Precipitation Measurement Intercomparison Final Report. WMO/TD-No. 872.
- Megyes A.–Rátonyi T.–Huzsvai L.–Szabó Gy.–Dobos A.–Sum, O.:* 2000. A műtrágyázás hatása a Dekalb 471 SC kukoricahibrid (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélkül és öntözéssel. Növénytermelés. 49. 3: 307–316.

- Nagy, J.*: 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. *Időjárás*. 116. 1: 39–52.
Net1: met.hu
- Nielsen, D. C.–Halvorson, A. D.–Vigil, M. F.*: 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research*. 118: 259–263.
- Smith, W. C.–Betran, J.–Runge, E. C. A. (eds.)*: 2004. *Corn. Origin, History, Technology, and Production*. Hoboken. NJ. John Wiley. 949.
- Westgate, M. E.–Boyer, J. S.*: 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science*. 26: 951–956.
- WMO – World Meteorological Organization*: 2008. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. WMO-8 8. 681.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Gombos Béla – Dr. Nagy János
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*gombos.bela@agr.unideb.hu

Az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) tápláltsági állapotát jellemző tápelemekkoncentráció és tápelemarány határértékek a diagnosztikai célú növényanalízishez

IZSÁKI ZOLTÁN

MATE Szent István Campus,

Növénytermesztési-tudományok Intézet, Szarvas

Összefoglalás

Az őszi árpa trágyázási szaktanácsadásának fejlesztéséhez kísérleti munkánk egyik célja volt, hogy trágyázási tartamkísérletek vizsgálati eredményeire alapozva a diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásához megbízható tápelemellátottsági határértékeket dolgozzunk ki. A műtrágyázási tartamkísérletet 1989-ben állítottuk be mélyben karbonátos csernozjom réti talajon, 4-4 N-, P- és K-ellátottsági szinten, teljes kezeléskombinációban, 64 kezeléssel. Az őszi árpa kísérleti ciklusa alatt 2006 és 2008 között végeztünk növénydiagnosztikai vizsgálatokat, melynek fontosabb eredményei az alábbiakban foglalhatók össze. Az őszi árpa kielégítő tápláltsági állapotát jellemző tápelemellátottsági határértékek a bokrosodás fázisában (Feekes 4-5), növényanalízis alapján: N 4,2-5,5%; P 0,55-0,75%; K 3,7-4,5%; Na 0,20-0,50%; Ca 0,45-0,55%; Mg 0,20-0,30%; S 0,15-0,65%; Fe 250-450 mg/kg; Mn 75-120 mg/kg; Zn 30-40 mg/kg; Cu 8-11 mg/kg; B 3,5-6,0 mg/kg; és Mo 0,15-0,3 mg/kg. A tartamkísérletekben meghatározott kielégítő tápelemellátottsági határértékek szűkebb intervallumúak – mint a mértékadó forrásmunkák által közölt határértékek – nagyszámú adatbázisra és vizsgálatra épülnek. Így az őszi árpa trágyázási szaktanácsadásában, a diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásakor a hazai viszonyokra kimunkált határértékeink nagy biztonsággal használhatók az őszi árpa tápláltsági állapotának megítéléséhez.

Kulcsszavak: őszi árpa, növényanalízis, tápelemekkoncentráció, tápelemarány

Nutrient concentration and nutrient element ratio limits for nutritional status of winter barley (*Hordeum vulgare* L.) for diagnostic plant analysis

Z. IZSÁKI

MATE Szent István Campus,
Institute of Crop Production Sciences, Szarvas

Summary

One of the aims of our experimental work to improve fertilisation advice for winter barley was to develop reliable nutrient limits for the application of diagnostic plant analysis based on the results of fertilisation long-term experiments. The fertilisation long-term experiment was established in 1989 on deep carbonate chernozem meadow soil at 4-4 N, P and K supply levels, with a full treatment combination of 64 treatments. Plant diagnostic analyses were carried out during the experimental cycle of winter barley from 2006 to 2008, the main results of which are summarised below. Nutrient supply thresholds characterising the satisfactory nutritional status of winter barley at the tillering stage (Feekes 4-5), based on plant analysis: N 4,2-5,5%; P 0,55-0,75%; K 3,7-4,5%; Na 0,20-0,50%; Ca 0,45-0,55%; Mg 0,20-0,30%; S 0,15-0,65%; Fe 250-450 mg kg⁻¹; Mn 75-120 mg kg⁻¹; Zn 30-40 mg kg⁻¹; Cu 8-11 mg kg⁻¹; B 3,5-6,0 mg kg⁻¹; and Mo 0,15-0,3 mg kg⁻¹. Satisfactory nutrient supply limits established in the long-term experiments are narrower in range than those reported in key source works, and are based on a large number of databases and studies. Thus, in fertilisation advice for winter barley, when using plant analysis for diagnostic purposes, our limit values developed for Hungarian conditions can be used with a high degree of confidence to assess the nutritional status of winter barley.

Keywords: winter barley, plant analysis, nutrient concentration, nutrient ratio

Bevezetés

A diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásának elméleti alapját és felhasználásának területeit számos közlemény ismerteti (*Bergmann és Neubert 1976, Elek és Kádár 1980, Kádár 1992, Lemaire 1997, Smith és Loneragan 1997, Izsáki 2000, 2015; Fodor et al. 2010*). Egyetértés van abban, hogy mindegyik trágyázási-szaktanácsi rendszer talaj- és növényvizsgálatokra épül, így a trágyaszükséglet számítás megalapozottságához, megbízhatóságához szükségesek a termőhelyi kategóriákra, növénycsoportokra vagy növény fajokra jól kalibrált talaj tápelem-ellátottsági határértékek, valamint a tenyészidő alatti növényanalízis alkalmazásához a növény tápláltságát jellemző ugyancsak egzaktan kalibrált tápelemkoncentráció és tápelemarány határértékek.

Az őszi árpa tenyészidő alatti növénytáplálásában a legfontosabb szerepet a N-fejtrágyázás játssza. A N-fejtrágyázást – az őszi árpa viszonylag gyengébb szárszilárdsága miatt – általában egyszer, a bokrosodás fázisában (Feekes 4–6), az intenzív N-felvételt megelőzően alkalmazzuk, amikor az összes szárazanyagtömegnek 10–15%-a halmozódott fel és beépült a N-nek mintegy 1/3-a (*Lásztity 2006*). Későbbi N-fejtrágyázásnak csak jó szárszilárdságú fajtáknál és szárszilárdító szer használata esetén van létjogosultsága. Ennek megfelelően a növényanalízis első időpontja a bokrosodás fázisára (Feekes 4–6, Zadok's 30–31) esik, amikor a növénymintavétel és a laboratóriumi vizsgálat a teljes földfeletti biomasszára terjed ki (*Elek és Kádár 1980, Kádár 1992*). Előre haladottabb fejlődési fázisban (szárbaindulás, kalászhányás) végzett tápanyag kiegészítéshez, növényanalízishez a mintázandó növényi rész a teljes földfeletti növény vagy a zászlós levél (*Bergmann és Neubert 1976, Plank és Donohue 2000*). Természetesen a nitrogén mellett más tápelemek pótlása is szükségszerű lehet a tenyészidő alatt.

Jelentősebb külföldi forrásmunkák (*Reuter és Robinson 1997, Plank és Donohue 2000*) alapján az őszi árpa kritikus- vagy határkoncentráció értékeit a bokrosodás és virágzás fejlődési fázisokra a 1. táblázat foglalja össze.

1. táblázat. Az őszi árpa kritikus (határ) tápelemkoncentráció értékei a fontosabb fejlődési fázisokban

Tápelem (1)	Fejlődési fázis (2)		
	Bokrosodás (Feekes 4–6) (Reuter és Robinson 1997) (3)	Bokrosodástól virágzásig (Plank és Donohue 2000) (4)	Virágzaskor (Feekes 10.5) (Reuter és Robinson 1997) (5)
N%	3,1–3,4 ⁺	3,0 ⁺	2,7–2,8 ⁺⁺
P%	0,31 ⁺	0,15 ⁺	0,28–0,30 ⁺⁺
K%	3,5–4,1 ⁺	2,0 ⁺	2,1–2,2 ⁺⁺
Ca%	0,18 ⁺	0,15 ⁺	0,3 ⁺
Mg%	0,11–0,12 ⁺⁺	0,10 ⁺	0,15 ⁺
S%	0,15 ⁺	0,10 ⁺	-
Fe (mg/kg)	-	25 ⁺	-
Mn (mg/kg)	13–16 ⁺	15 ⁺	5–24 ⁺
Zn (mg/kg)	-	15 ⁺	<15 ⁺
Cu (mg/kg)	2–4 ⁺⁺	3 ⁺	<5 ⁺
B (mg/kg)	3 ⁺	1 ⁺	<5 ⁺
Mo (mg/kg)	<0,05 ⁺	0,05 ⁺	0,11 ⁺

Megjegyzés: növényi rész - ⁺teljes földfeletti, ⁺⁺levél.

Table 1. Critical nutrient concentration values of winter barley at major development stages. (1) Nutrient, (2) Development stage, (3) Tillering, (4) Tillering to flowering, (5) Flowering, Note: plant part - ⁺whole above ground plant, ⁺⁺leaf.

A kritikus koncentráció olyan tápláltsági állapotot jellemez, amikor a tápelemhiány (kritikus hiány) enyhe, rejtett, vizuális jelei a növényen nincsenek, és a várható termés-csökkenés a termésmaximum 5–10%-át teszi ki. A kritikus koncentrációt általában egy tápelemkoncentráció értékkel vagy szűk koncentráció intervallummal fejezzük ki. A kritikus koncentráció jelenti a kielégítő tápelemellátottság alsó határát.

Az őszi árpa kielégítő tápelemellátottsági határértékeit a fontosabb fejlődési fázisokra a mértékadó közlemények (*Reuter és Robinson 1997, Seefeldt 2015*) szerint a 2. táblázat tartalmazza.

2. táblázat. Az őszi árpa kielégítő tápelemellátottsági határértékei a fontosabb fejlődési fázisokban

Tápelem (1)	Fejlődési fázis (2)		
	Bokrosodás (Feekes 4–6) (<i>Reuter és Robinson 1997</i>) (3)	Kalászhányás kezdetén (Feekes 10.1.) (<i>Seefeldt, S. 2015</i>) (4)	Virágzáskor (Feekes 10.5) (<i>Reuter és Robinson 1997</i>) (5)
N%	2,50–5,00 ⁺	1,75–3,00	2,90–3,50 ⁺⁺
P%	0,30–0,60 ⁺	0,20–0,50	0,31–0,42 ⁺⁺
K%	3,50–5,00 ⁺	1,50–3,00	2,30–2,80 ⁺⁺
Ca%	0,30–1,00 ⁺	0,30–1,20	0,30–1,20 ⁺
Mg%	0,15–0,30 ⁺	0,15–0,50	0,16–0,30 ⁺
S%	0,15–0,40 ⁺	0,15–0,40	0,15–0,40
Fe (mg/kg)	35–60 ⁺	-	50–100
Mn (mg/kg)	30–100 ⁺	18–100	25–100 ⁺
Zn (mg/kg)	15–60 ⁺	20–70	25–100 ⁺
Cu (mg/kg)	6–12 ⁺	4,25	5–25 ⁺
B (mg/kg)	6–12 ⁺	-	6–10 ⁺
Mo (mg/kg)	0,10–0,50 ⁺	0,11–0,18	0,11–0,18 ⁺

Megjegyzés: növényi rész - ⁺teljes földfeletti, ⁺⁺levél.

Table 2. Sufficient nutrient concentration limit values of winter barley at major development stages. (1) Nutrient, (2) Development stage, (3) Tillering, (4) At the beginning of earing, (5) Flowering, Note: plant part - ⁺whole above ground plant, ⁺⁺leaf.

A kielégítő tápelemellátottsági határértéken azt a tápelemkoncentráció intervallumot értjük, amely a növény adott fejlődési fázisában kifejezi az optimális tápláltsági állapotot és kötődik az adott termőhelyi feltételek között a termésmaximum szintjéhez. E tápelemkoncentráció alsó határát a kritikus

koncentráció adja, míg felső határa már olyan tápelemfelvételi többletet jellemez, amelynél még nem jelentkezik terméshozam csökkenést.

A diagnosztikai célú növényanalízis tápláltsági állapotot jellemző határértékeit a szakirodalom növény fajra adja meg. Ettől eltérő eset, amikor *Plank* és *Donohue* (2000) az USA déli régiójára ugyanazon tápelemellátottsági értékeket adnak meg az árpára, zabra, rozsra és a búzára vonatkozóan a következők szerint. Kielégítő tápelemellátottságot jellemző koncentrációk bokrosodástól a kalászshányás kezdetéig: 4,0-5,0% N; 0,2-0,5% P; 2,5-5,0% K; 0,2-1,0% Ca; 0,14-1,0% Mg; 0,15-0,65% S; 30-200 mg/kg Fe, 20-150 mg/kg Mn, 18-70 mg/kg Zn, 4,5-15 mg/kg Cu, 1,5-4,0 mg/kg B, és 0,1-2,0 mg/kg Mo. Az ellátottsági határértékek a földfeletti növényi részre, illetve a zászlós levélre vonatkoznak.

Az őszi árpa kielégítő tápelemellátottsági határértékei a fenti közlemények szerint viszonylag tág intervallumban mozognak, és esetenként jelentősebb eltérések is mutatkoznak. Így szükségszerűen kérdésként vetődik fel, hogy a hazai trágyázási szaktanácsadás számára milyen tápelemellátottsági határértéket alkalmazzunk vagy adaptáljunk. Előzőekben is kiemeltük, hogy megbízható tápelemellátottsági határértéket (hiányos, kielégítő, túlzott) meghatározni csak olyan trágyázási kísérletek alapján lehet, amelyek eltérő talaj tápelemellátottságra, nagyszámú trágyázási kezeléskombinációra épülnek, több évjáratra kiterjednek és széleskörű tápelem vizsgálatokkal alapját képezik egy nagy adattömegű adatbázis kialakításának.

Az őszi árpa diagnosztikai célú növényanalízisének gyakorlati alkalmazásához a hazai kutatási eredmények nagyon szegényesek. Így célunk volt, hogy az őszi árpával végzett trágyázási tartamkísérletek vizsgálati eredményeire alapozva a diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásához megbízható tápelemellátottsági határértékeket tegyünk közzé a trágyázási szaktanácsadás fejlesztéséhez.

Anyag és módszer

A műtrágyázási tartamkísérletet a Kar Növénytermesztéstani Tanszéke Kísérleti Telepén, Szarvason állítottuk be 1989-ben. A kísérleti terület talaja mélyben karbonátos csernozjom réti talaj, a humuszos réteg vastagsága 85-100 cm, a művelt réteg pH_{KCl}-ja 5,0-5,2; humusztartalma 2,8-3,2%; CaCO₃-ot nem tartalmaz, kötöttsége (K_A) 50, agyagtartalma 32%.

A kísérlet beállítása előtt 1989 őszén az AL-P₂O₅ 156 mg/kg, az AL-K₂O 322 mg/kg, AL-Na 212 mg/kg, a KCI-Mg 765 mg/kg, az EDTA-Mn 386 mg/kg, az EDTA-Cu 5,4 mg/kg és az EDTA-Zn 3,0 mg/kg volt a kísérleti terület átlagában. A MÉM NAK által elfogadott módszerek és határértékek (*Buzás et al.* 1979) alapján a talaj ellátottsága N-ből közepes-jó, P-ből, K-ből, Cu-ből és Zn-ből jó, Mg-ből és Mn-ből igen jó ellátottságot mutatott. A talajvíz átlagos mélysége 300–350 cm.

A műtrágyázási tartamkísérletet három tényezővel (N-, P- és K-trágyázás), tényezőnként négy-négy N-, P- és K-szinten alakítottuk ki, teljes kombinációban (4³), azaz 64 kezeléssel, kétszeresen osztott parcellás elrendezésben, három ismétlésben. A három valódi ismétlésen belül a N-trágyázási kezelések 48, a P-trágyázási kezelések 16 belső ismétléssel szerepeltek. A kísérletben alkalmazott trágyakezelések:

- nitrogénből: N₀ 0; N₁ 80; N₂ 160; N₃ 240 kg N/ha/év;
- foszforból (P₂O₅): P₀ 0; P₁ 100; P₂ 500 kg/ha/év 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben; P₃ 1000 kg/ha/év 1989-ben, 1993-ban és 2001-ben;
- káliumból (K₂O): K₀ 0; K₁ 300 kg/ha/év 1989–1992 és 100 kg/ha/év 1993-tól; K₂ 600 kg/ha/év 1989-ben és 2001-ben, 1000 kg/ha/év 1993-ban; K₃ 1200 kg/ha/év 1989-ben és 2001-ben, 1500 kg/ha/év 1993-ban.

A nagyadagú P és K feltöltő trágyázás célja az volt, hogy jól elkülönülő ellátottsági szinteket alakítsunk ki a talajban a tápláltsági szintek tanulmányozására. Az őszi árpa N-adagját megosztva, 50%-át alaptrágyaként és 50%-át fejtrágyaként juttattuk ki.

Az őszi árpa kísérletek időjárási viszonyait, éves talajvizsgálati eredményeit és agrotechnikáját a korábbi közleményekben részletesen leírtuk (*Izsáki* 2017, 2018), így erre a dolgozat nem tér ki.

A diagnosztikai célú növényanalízishez kezelésenként és parcellánként 2x1 folyóméterről vettünk mintát a bokrosodás végén, a teljes földfeletti növényből. A növényi részek szárított és ledarált mintáiból a következő tápelemeket vizsgáltuk az ismétlésekből képzett átlagmintákból: N, P, K, Na, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn és Cu. A minták kénsavas, majd hidrogén-peroxidos roncsolása után a nitrogént és foszfort fotometrián, a káliumot és a nátriumot lángfotométerrel [*MSZ-08-1-1783-6* (1983), *MSZ-08-1783-28-29* (1985)] határoztuk meg. A Ca-, Mg-, Fe-, Mn-, Zn- és Cu-tartalmat sósavas (2

mol HCl dm³⁻¹) hidrolízis után atomabszorpciós (AAS) készülékkel vizsgáltuk az MSZ-08-1783-26-34 (1985) szabvány szerint.

Eredmények és következtetés

Kísérleti eredményeink igazolták, hogy a talaj N-, P- és K-ellátottsága befolyással van az őszi árpa termés hozamára és a bokrosodáskori hajtás tápelem tartalmára. Tápelemellátottsági határértékek meghatározása a növényi rész tápelem tartalma és a termés hozam közötti összefüggésre alapozottan lehetséges (Izsáki 2009, 2014, 2017). Ezen összefüggések vizsgálata alapján állapítottuk meg az őszi árpa tápláltsági állapotát jellemző tápelemkoncentráció és tápelemarány határértékeket a bokrosodás fázisára (Feekes 4-5) a következők szerint. A termés hozam és a teljes földfeletti növény tápelemkoncentráció és tápelemarány értékeit - tápelemenként, tápelemarányonként külön-külön - koordináta rendszerben grafikusán ábrázoltuk és a 192 adatsorból álló ponthalmazt burkoló görbével határoztuk. A burkoló görbe a N esetben (1. ábra) egy másodfokú polinommal jellemezhető ($y = -0,6623x^2 + 6,64x - 10,613$; $R^2 = 0,68$). A burkoló görbe mentén elhelyezkedő értékek azt az esetet reprezentálják, amikor a termést befolyásoló tényezők optimumban vannak és a hozamot csak az adott tápelem koncentrációja befolyásolja. A burkoló görbe alatt elhelyezkedő értékek esetében egyes termés meghatározó tényezők nincsenek optimumban és a termésszint nemcsak az adott tápelem koncentrációjától függ. Ilyen esetben egy tápelemkoncentráció értékhez különböző termés hozamok köthetnek. Minél nagyobb termésszintre határozzuk meg a tápelemellátottsági optimumot annál szűkebb a tápelemkoncentráció intervalluma. A kielégítő tápelemellátottság tápelemkoncentráció határértékét az őszi árpa maximális szemtermésének 90-95%-os szintjére (6 t/ha körüli termés hozamra) határoztuk meg. A kielégítő tápelem-ellátottságot jellemző tápelemarányokat az előzőekben leírt módszerrel dolgoztuk ki. Terjedelmi okok miatt a mintegy 40 ábra közül csak a makro- és mikroelem koncentráció és a termés hozam közötti kapcsolatot (1-5. ábrák) mutatjuk be példaként a tápelemellátottsági határértékek meghatározásának szemléltetésére.

1. ábra. Összefüggés az őszi árpahajtás N- és P-tartalma, valamint a termés hozam között (Szarvas, 2006–2008)

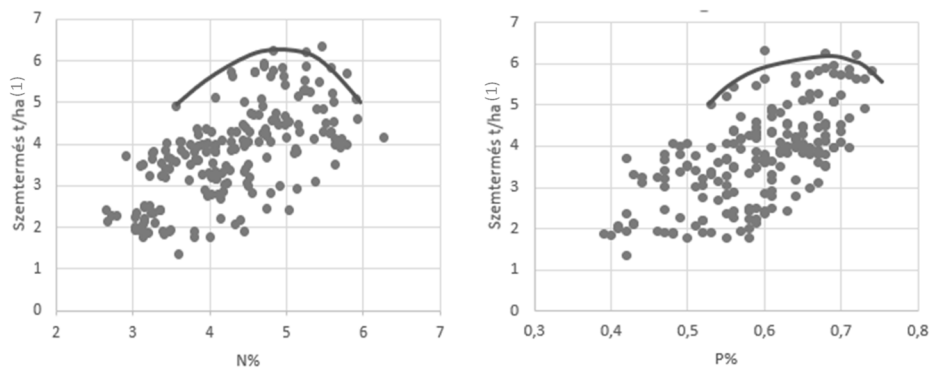


Figure 1. Relationship between the N and P concentration of winter barley shoot as well as the grain yield (Szarvas, 2006–2008). (1) Grain yield (t ha⁻¹)

2. ábra. Összefüggés az őszi árpahajtás K- és Na-tartalma, valamint a termés hozam között (Szarvas, 2006–2008)

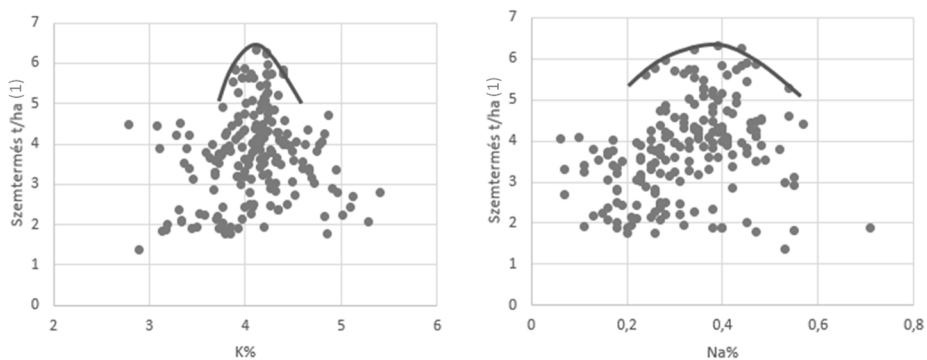


Figure 2. Relationship between the K and Na concentration of winter barley shoot as well as the grain yield (Szarvas, 2006–2008). (1) Grain yield (t ha⁻¹)

3. ábra. Összefüggés az őszi árpahajtás Ca- és Mg-tartalma, valamint a termés hozam között (Szarvas, 2006–2008)

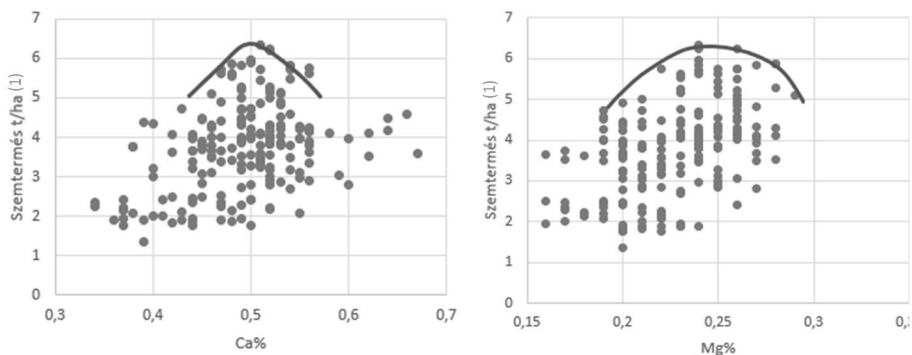


Figure 3. Relationship between the Ca and Mg concentration of winter barley shoot as well as the grain yield (Szarvas, 2006–2008). (1) Grain yield (t ha⁻¹)

4. ábra. Összefüggés az őszi árpahajtás Fe- és Mn-tartalma, valamint a termés hozam között (Szarvas, 2006–2008)

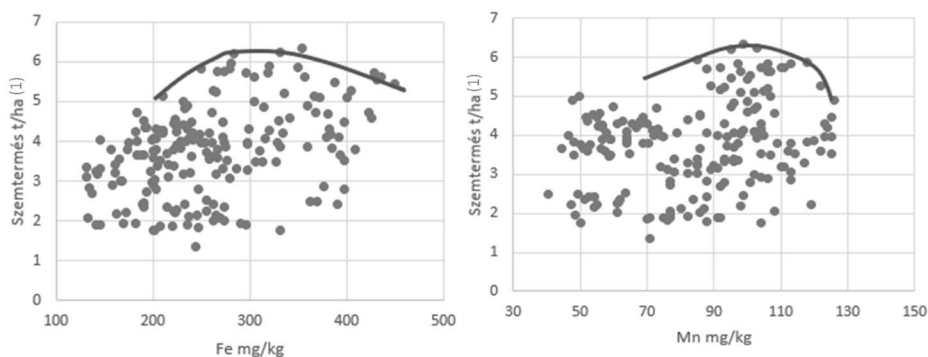


Figure 4. Relationship between the Fe and Mn concentration of winter barley shoot as well as the grain yield (Szarvas, 2006–2008). (1) Grain yield (t ha⁻¹)

5. ábra. Összefüggés az őszi árpahajtás Zn- és Cu-tartalma, valamint a termés hozam között
(Szarvas, 2006–2008)

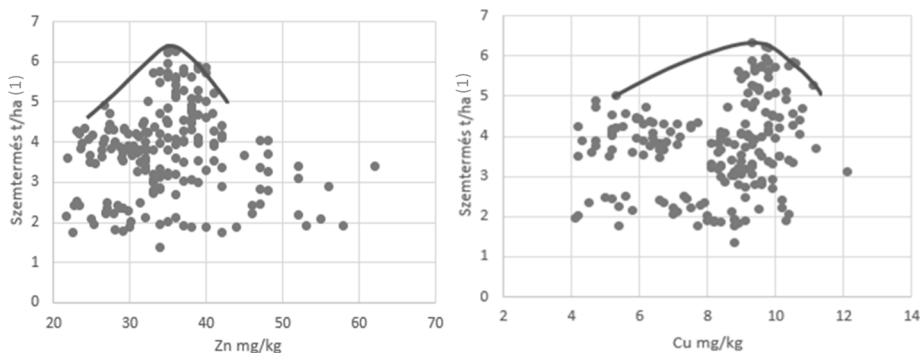


Figure 5. Relationship between the Zn and Cu concentration of winter barley shoot as well as the grain yield (Szarvas, 2006–2008). (1) Grain yield (t ha^{-1})

Az őszi árpa tápláltsági állapotát jellemző tápelemkoncentráció és tápelemarány határértékeket a bokrosodás fázisára (Feekes 4–5) vonatkozóan a 3–4. táblázat tartalmazza.

A tartamkísérlet három éves vizsgálati eredményeit összehasonlítva a mértékadó legfontosabb nemzetközi adatokkal (2. táblázat), melyek az őszi árpa kielégítő tápelemellátottságát jellemző határértékek a bokrosodás fázisában, a következők állapíthatók meg.

A nemzetközi szakirodalom mind a makro-, mind a mikroelemekre vonatkozóan tág intervallumban adja meg az őszi árpa kielégítő tápláltsági állapotot jellemző határértékeket, melyek a hazai termesztési körülményekre csak korlátozott érvényűnek tekinthetők. A szarvasi tartamkísérletekben meghatározott kielégítő tápelemellátottsági határértékek szűkebb intervallumúak, nagyszámú adatbázisra és vizsgálatra épülnek, az esetek többségében beleesnek a mértékadó forrásmunkák által közölt határértékekbe. Így az őszi árpa trágyázási szaktanácsadásában, a diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásakor a hazai viszonyokra kimunkált határértékeink nagy biztonsággal használhatók az őszi árpa tápláltsági állapotának megítéléséhez.

3. táblázat. *Kielégítő tápelem-ellátottsági határértékek az őszi árpa bokrosodáskori (Feekes 4–5) tápláltsági állapotának megítéléséhez a tápelem-koncentráció alapján (Szarvas, 2006–2008)*

Tápelem (1)	Tápelem-koncentráció (2)	
	Saját adatok (3)	Felhasznált forrásmunkák alapján* (4)
N%	4,2-5,5	2,5-5,2
P%	0,55-0,75	0,2-0,6
K%	3,7-4,5	2,5-5,0
Na%	0,20-0,50	<0,5
Ca%	0,45-0,55	0,2-1,0
Mg%	0,20-0,30	0,15-1,0
S%	-	0,15-0,65
Fe (mg/kg)	250-450	20-250
Mn (mg/kg)	75-120	20-200
Zn (mg/kg)	30-40	15-70
Cu (mg/kg)	8,0-11,0	5-15
B (mg/kg)	3,5-6,0	1,5-12
Mo (mg/kg)	0,15-0,30	0,1-2,0

*Források: *Bergmann és Neubert (1976), Reuter és Robinson (1997), Plank és Donohue 2000, Kádár (2012), Surányi és Izsáki (2018)*

*Table 3. Sufficient nutrient concentration limit values of winter barley at tillering (Feekes 4–5) for interpretation its nutritional status (Szarvas, 2006–2008). (1) Nutrient, (2) Nutrient concentration, (3) Own data, (4) Based on international literatures, *Sources: Bergmann and Neubert (1976), Reuter and Robinson (1997), Plank and Donohue 2000, Kádár (2012), Surányi and Izsáki (2018)*

4. táblázat. *Kielégítő tápelem-ellátottsági határértékek az őszi árpa bokrosodáskori (Feekes 4-5) tápláltsági állapotának megítéléséhez a tápelemarányok alapján (Szarvas, 2006-2008)*

Tápelem arányok (1)	Határértékek (2)	Tápelem arányok (1)	Határértékek (2)
N/P	6,0-9,0	P/Cu	600-800
N/K	1,0-1,4	K/P	5-8
N/Na	10-20	K/Na	10-20
N/Ca	7-12	K/Ca	7-9
N/Mg	17-25	K/Mg	13-20
N/Fe	120-230	K/Fe	100-200
N/Mn	350-650	K/Mn	300-500
N/Zn	1200-1600	K/Zn	800-1300
N/Cu	4000-7000	K/Cu	3500-5000
P/Ca	1,0-1,5	Ca/Mg	1,7-2,6
P/Mg	2,3-3,3	Mg/Cu	200-300
P/Fe	15-30	Fe/Mn	2,5-4,5
P/Mn	45-100	Fe/Cu	20-40
P/Zn	150-220	Mn/Zn	2,0-3,5

Table 4. Sufficient nutrient ratio limit values of winter barley at tillering (Feekes 4-5) for interpretation its nutritional status (Szarvas, 2006-2008). (1) Nutrient ratios, (2) Limit values

IRODALOM

- Bergmann, W.-Neubert, P.: 1976. Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. VEB Gustav Fisher Verlag, Jena.
- Buzás I.-Fekete A.-Buzás I.-né-Csengeri P.-né-Kovács Á.-né.: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer (I. és II. rész). MÉM NAK. Budapest.
- Elek É.-Kádár I.: 1980. Állókultúrák és szántóföldi növények mintavételi módszere. MÉM NAK. Budapest.
- Fodor N.-Csathó P.-Árendás T.-Radimszky L.-Horváth J.-Németh T.: 2010. A fiatalkori növények tápláltsági állapotának értékelése legelterjedtebb hazai trágyázási szaktanácsadási rendszerek tesztelésére beállított szabadföldi kísérletekben. Növénytermelés. 59. 1: 5-26.
- Izsáki, Z.: 2009. Effect of nitrogen supply on nutritional status of maize (*Zea mays* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 40. 1-6: 960-973.

- Izsáki, Z.*: 2014. Effect of phosphorus supplies on nutritional status of maize (*Zea mays* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 45. 4: 516–529.
- Izsáki Z.*: 2015. A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei I. 1990–2010. Kukorica, cukorrépa, zab, olajlen és silócirok tápanyagellátása. Agroinform Kiadó és Nyomda Kft. Budapest.
- Izsáki Z.*: 2017. A talaj N-, P- és K-ellátottságának hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) terméshozamára és fehérjetartalmára csernozjom réti talajon. Növénytermelés. 66. 4: 45–64.
- Izsáki, Z.*: 2017. Effect of potassium supplies on nutritional status of maize (*Zea mays* L.). Communications in Soil Science and Plant Analysis. 48. 19: 2347–2358.
- Izsáki Z.*: 2018. A N- és P-ellátottság hatása az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) szemtermésének aminosav összetételére. Növénytermelés. 67. 23–43.
- Kádár I.*: 1992. A növénytáplálás alapelvei és módszere. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Lásztity B.*: 2006. Az ásványi tápelemek felhalmozása gabonafélékben. Műegyetem Kiadó. Budapest.
- Lemaire, G.*: 1997. Diagnostic of the nitrogen status in crops. Springer Verlag. Heidelberg. Germany.
- MSZ-08-1783-6 (1983)*: Nagy teljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok nitrogéntartalmának mennyiségi meghatározása.
- MSZ-08-1783-26-34 (1985)*: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok bórtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel.
- MSZ-08-1783-28-29 (1985)*: Nagyteljesítményű műszersorok alkalmazása a növényvizsgálatokban. Növényi anyagok bórtartalmának mennyiségi meghatározása ICP módszerrel.
- Plank, C. O.–Donohue, S. J.*: 2000. Small grain, barley, oats, rye, wheat. [In: Campbell, C. R. (ed.) References sufficiency ranges for plant analysis in the southern region of United States.] North Carolina of Agriculture and Consumer Services. Agronomic Division. Raleigh. 29–31.
- Reuter, D. J.–Robinson, J. B.*: 1997. Plant analysis: An interpretation manual. Collingwood. CSIRO. Australia.
- Seefeldt, S.*: 2015. Plant tissue testing. Cooperative Extension Service. University of Alaska. Fairbanks. 1–7.
- Smith, F. W.–Loneragan, J. F.*: 1997. Interpretation of plant analysis: Concept and principles. [In: Reuter and Robinson (eds.) Plant analysis: An interpretation manual.] Collingwood. CSIRO. Australia. 1–33.
- Surányi, Sz.–Izsáki, Z.*: 2018. Plant analysis application for environmentally friendly fertilization of winter barley (*Hordeum vulgare* L.). Applied Ecology and Environmental Research. 16. 4: 5213–5226.

A szerző levelezési címe - Address of the author:

Dr. Izsáki Zoltán
MATE Szent István Campus
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Szarvas
Szabadság út 1-3.
H-5540
izsaki.zoltan@uni-mate.hu

Aszály és növénytermesztés – a szélsőséges időjárási hatások áttekintése

JOLÁNKAI MÁRTON – KASSAI MÁRIA KATALIN –
KENDE ZOLTÁN – TARNAWA ÁKOS
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem, Gödöllő

Összefoglalás

A társadalom számára szükséges kielégítő élelmiszerellátás és -biztonság alapja a mezőgazdasági termelés, ezen belül is a növénytermesztés produktuma. A termőhelyi viszonyok nagymértékben meghatározzák a növénytermesztési tevékenység feltételeit. A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni. Az alkalmazkodás elsősorban a vízzel való hatékonyabb gazdálkodásra kényszerít. A talajhasználat tökéletlensége (hiányos művelés, trágyázás vagy növényvédelem) esetén a klimatikus tényezők kedvezőtlen hatása fokozottabb, és a veszteség nagyobb. Jelen dolgozat tárgya a növénytermesztés klímaváltozással kapcsolatos feladatainak áttekintése.

Kulcsszavak: aszály, klímaváltozás, vízellátás, alkalmazkodás

Drought and crop production – an overview on the impacts of climate extremities

M. JOLÁNKAI – M. K. KASSAI – Z. KENDE – Á. TARNAWA
Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő

Summary

Agricultural production, including the production of crops, is the basis for a satisfactory food supply and security for society. Land conditions determine to a large extent the conditions for crop production. The future potential for crop production is likely to be enhanced or limited by the degree of adaptation to climatic changes. Adaptation will in particular force more efficient water management. In the case of imperfect land use (poor cultivation, fertilisation or crop protection), the adverse effects of climatic factors are more pronounced and losses are greater. The present paper is an overview of the challenges for crop production in relation to climate change.

Keywords: drought, climate change, water supply, adaptation

Bevezetés

A társadalom számára szükséges kielégítő élelmiszerellátás és -biztonság alapja a mezőgazdasági termelés, ezen belül is a növénytermesztés produktuma. A termőhelyi viszonyok nagymértékben meghatározzák a növénytermesztési tevékenység feltételeit. A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni. Az alkalmazkodás elsősorban a vízzel való hatékonyabb gazdálkodásra kényszerít. A talajhasználat tökéletlensége (hiányos művelés, trágyázás vagy növényvédelem) esetén a klimatikus tényezők kedvezőtlen hatása fokozottabb, és a veszteség nagyobb. Jelen dolgozat tárgya a növénytermesztés klímaváltozással kapcsolatos feladatainak áttekintése.

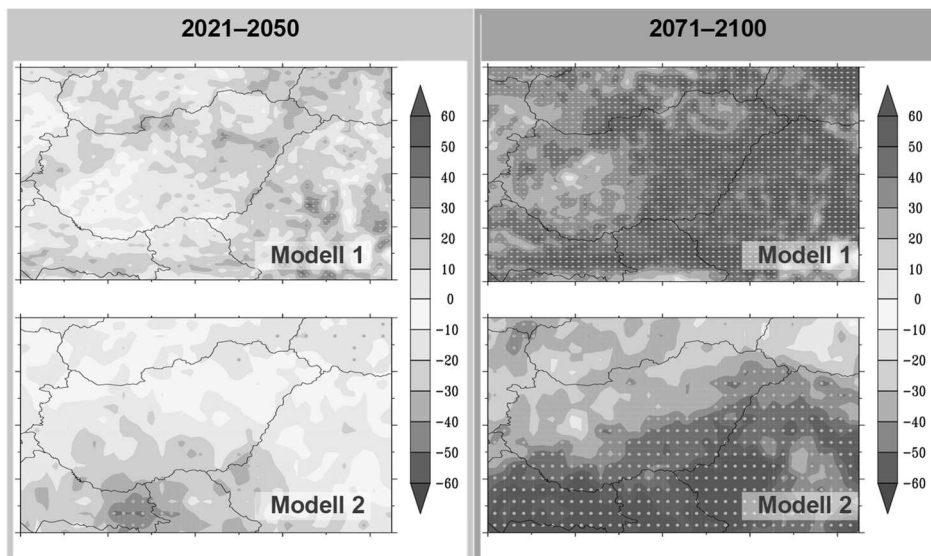
Földünk bármely földrajzi pontján az éghajlat erőforrásként is értelmezhető, mégpedig az egész emberiség legjelentősebb erőforrásaként, amelyet hasznosítani lehet, de egyúttal az éghajlat magába foglal olyan tényezőket is, amelyek többféle szempontból is kockázati elemet jelenthetnek (Várallyay 2008, Jolánkai et al. 2013, Kassai et al. 2017, Jolánkai et al. 2018). A globális klímaváltozás egy folyamat, amelynek részesei vagyunk. Lényegében az utolsó Würm glaciálistól, kb. 30 000 éve egy kisebb-nagyobb ingadozásokat mutató felmelegedés tapasztalható. Tudományos, politikai és laikus viták folynak arról, hogy a jelenség oka természeti, a bio-geo-kémiai ciklus része, avagy részben vagy egészében antropogén eredetű. Szakmai szempontból mindez közömbös. A növényi produkció, a mezőgazdasági termelés, valamint a társadalom életfeltételeinek biztosítása érdekében az alkalmazkodás fenntartható élettani és műszaki-technikai kereteit szükséges meghatározni.

A különböző klímakutatási scenáriók Magyarországra vetített adatai szerint hazánkban 3–3,5 °C hőmérséklet-emelkedéssel, amely a Dunántúlon kisebb, az Alföldön nagyobb mértékű, illetve csaknem változatlan -5–+5 %-os csapadék mennyiséggel lehet számolni. Összességében a hőmérséklet növekedése és a lényegében változatlan csapadék együttesen szárazodást jelent a mezőgazdasági termelés számára (Anda 2005, Lakatos et al. 2016). Az OMSZ regionális klímamodelljei az elkövetkezendő időszakokra egyértelműen a nyári száraz időszakok növekedését valószínűsítik (1. ábra). A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni. Az alkalmazkodás elsősorban a vízzel való hatékonyabb gazdálkodásra kényszerít.

A növénytermesztés lényegében a klímaváltozás és klímavédelem mindkét területének kulcsszereplője. Ami a megelőzést (mitigation) illeti, Magyarországon a radiáció évente átlagosan 1500 MJ fotoszintetikus aktív energiát jelent négyzetméterenként. A termőhelyi viszonyok nagymértékben meghatározzák a növénytermesztési tevékenység feltételeit. A számos befolyásoló tényező közül némileg pontatlan összefoglaló kifejezéssel a „talaj-klimatikus” viszonyokat tekinti a mezőgazdaság olyan tényezők összességének, amelyek hatását nem, vagy csak kis mértékben képes szabályozni, és amely hatások ugyanakkor alapvetően meghatározni képesek a termelés célját, a természetű növény fajtát, fajtáját, az alkalmazható agrotechnikai műveleteket és magát a tevékenység gazdaságosságát (Pepó 2010, Wichelns 2010, Brussaard 2012). Ez utóbbi

pedig nem más, mint az alkalmazkodás (adaptation). A klímaváltozás számos negatív, de ugyanakkor pozitív hatással is lehet a növényi életfeltételek alakulására.

1. ábra. A száraz időszakok maximális nyári időtartamának átlagos változása (%) 2021–2050-re és 2071–2100-ra az 1961–1990 időszakhoz viszonyítva az OMSZ-ban alkalmazott két regionális klímamodell eredményei alapján



Forrás: Lakatos et al. (2016)

Megjegyzés: pontozás jelöli azokat a rácspontokat, ahol a változás szignifikáns.

Figure 1. Average change (%) in the maximum summer duration of dry periods for 2021–2050 and 2071–2100 compared to the 1961–1990 period, based on the results of two regional climate models used in the OMSZ. Note: scores indicate grid points where the change is significant. Source: Lakatos et al. (2016)

Növényélettani szempontból az aszály olyan mértékű vízhiány, amely a növényegyed, vagy egy adott populáció számára visszafordíthatatlan károsodást okoz. A növénytermesztés jövőbeni lehetőségeit nagy valószínűséggel a klimatikus változásokhoz való alkalmazkodás szintje fogja bővíteni, vagy korlátozni (Farkas et al. 2013, Jolánkai et al. 2021). Az alkalmazkodás elsősorban a vízzel való hatékonyabb gazdálkodásra kényszerít. A talajhasználat tökéletlensége

(hiányos művelés, trágyázás vagy növényvédelem) esetén a klimatikus tényezők kedvezőtlen hatása fokozottabb, és a veszteség nagyobb. Az aszálykárok elsődleges oka a csapadékhány, belvízkárok viszont akkor keletkeznek, ha a csapadék jelentősen több a szokásosnál. A kár mértékét a talaj nedvességtartalmán és nedvességforgalmán keresztül mindkét esetben befolyásolja a talaj használata. Az aszály-hatást befolyásoló legfontosabb talajhasználati elemek: a talajok fizikai és biológiai állapota; növény és állománysűrűség; növényi sorrend és vetésváltás; a talajok tápanyag-ellátottsága, a trágyázás; kémiai talajhibák, melioráció; gyomok, kártevők, kórokozók és a növényvédelem; eszközválaszték és használat. A vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a tartós szárazság kára kimutathatóan súlyosabb a fizikai és biológiai állapotukban leromlott, tápanyagban elszegényedett talajokon. Kimutatható, hogy a talajok jó fizikai és biológiai kondíciója jó esélyt ad a termőhely aszálytűrő képességének növeléséhez. Növénytermesztési kutatási eredmények szerint a talajhasználati tényezők módosításával – talajszerkezet kímélés, alkalmazkodó talajművelés és növényi sorrend, okszerű trágyázás – a káros aszály-hatás megbízhatóan enyhíthető (Várallyay 2008, Tarnawa et al. 2015).

Alkalmazkodóképesség. A növénytermesztés sikere minden korban a termesztett növény alkalmazkodóképességétől függött. A termesztett növényfaj megválasztásán túlmenően legfontosabb a fajtaismeret. Nemesítő intézeteink, fajtanemesítőink minden fajta esetében közléteszik a növény habitusának, tenészidejének, vízforgalmának, télállóságának, tápanyagigényének, betegségekkel szembeni rezisztenciájának adatait. A természet felelőssége, hogy ezek közül melyet választ ki az adott termőhelyre, és hogyan képes kielégíteni annak igényeit. Történelmi példa, hogy a nagy termőképességű mediterrán búzafajták magyarországi elterjedésének két egymást követő kemény tél vetett véget, amikor is azok a hazaiaknál sokkal súlyosabb fagykárt szenvedtek.

A klímakutatások növénytermesztési vizsgálatainak legfontosabb konklúziója: a növénytermesztés szakmai szabályainak betartása. Valójában ezt fejezi ki a jó mezőgazdasági gyakorlat (good agricultural practice) EU irányelve is. Legfontosabb elemei: a termőhely kiválasztás, vízforgalmat és talajéletet fenntartó talajművelés, faj és fajta megválasztása, vetésidő, -mélység, sortáv, tőtáv alkalmazása, elő és utóvetemény szerepe, vetésváltás és vetésforgó, élettanilag helyes tápanyagellátás, okszerű növényápolás, megfelelő időben végzett betakarítás – hogy csak néhányat soroljunk fel, mind olyan tényezők, amelyek

biztosíthatják a klímaváltozás káros hatásainak megelőzését, de legalábbis a kártétel mértékének enyhítését. Szükségképpen az aszály elleni védekezés, illetve annak ösztönzése nem a természetstechnológia egy-egy kiragadott elemére, hanem annak egészére kell, hogy irányuljon.

Időről-időre felmerül, nem csak a sajtóban, de szakmai körökben is az öntözés kérdése. Mennyit és mikor öntözzünk, pontosabban miért nem, vagy nem hatékony az ország öntözési gyakorlata. Az idején aszályos év kilátásainak és tapasztalatainak hatására a növénytermesztő szakma megfogalmazta és a legkülönbözőbb csatornákon keresztül közzétette a szántóföldi növények öntözésével kapcsolatos problémák áttekintését. Természetesen nem utólag, hanem már az év elejétől kezdődően, figyelmeztetve a termelőket és az illetékeseket a várható problémákra. A javaslatok és értékelések az alábbiakban foglalhatók össze.

Néhány gondolat a szántóföldi növények öntözésének problémáiról

Magyarországon, lényegében az 1989-es rendszerváltozást követő negyed százados időszakban az öntözés a szántóföldi növénytermesztés technológiai között jelentős mértékben visszaesett (Farkas et al. 2013). Az amúgy is szerény mértékű öntözésre berendezett, illetve arra alkalmassá tehető terület (kb. 300–350 000 ha) töredékén végzünk öntözést, ennek mértéke ebben az elmúlt időszakban 30 000–110 000 ha között ingadozott.

Valószínűsíthető okok:

- Elsődlegesnek ítéltető a birtokviszonyok rendezetlen állapota. Ma Magyarországon a szakmai szempontból elfogadható méretű gazdaságok csaknem mindegyike vegyes birtokszerkezeti viszonyok között gazdálkodik. Stabil „land tenure” hiányában hosszútávú beruházást, infrastruktúra fenntartást a gazdálkodó nem végez.
- Az infrastruktúra hiánya. Az öntözési infrastruktúra gazdasági része jórészt ismeretlen állapotban van, hiányos, lepusztult, működésképtelen, vagy csak részben működőképes.
- A rurális bűnözés első számú célpontja a szántóföldi termelőberendezések, így az öntözőberendezések eltulajdonítása, tönkretétele. Ezt a kérdést eddig még minden kormányzat szőnyeg alá söpörte, holott még napjainkban is ez az agrárium egyik legnagyobb problémája.

- Gondot jelent a szakképzett munkaerő. Lényegében még nagygazdaságok sem rendelkeznek, vagy csak kivételes esetben szakképzett munkaerővel. A mezőgazdaságnak ez általános problémája, de ez az öntözés területén csaknem kizárólagosan meghatározó. Leszámítva azt a néhány nagyüzemet, amelyeknek van reguláris öntözési ágazata, valamint a szántóföldi termesztést is végző kertészeteket, szakképzett öntöző gyalogmunkás, vagy betanított munkás ma nincs az agráriumban.
- Elégtelen az agrárium öntözéssel kapcsolatos szabályzó-ösztönző rendszere. Lényegében nem a támogatás hiánya, hanem a koncepció hiánya okozza a legnagyobb gondot. Nincs középtávú stratégia, amelyre egy gazdálkodó építhetne. Sokszor a szabályzók még egy tenyészidőszakon belül is változnak.
- Nem megfelelő a vízügyi és vízgazdálkodási rendszerek kapcsolata a termelőkkel. Ez részben kommunikációs probléma, részben az előző - szabályozásokkal összefüggő probléma, valamint egyes esetekben a szolgáltatási és hatósági jogkörök tisztázatlansága.
- Nem kellőképpen tisztázták a kommunális rendszerek és a gazdálkodók öntözéssel és vízgazdálkodással összefüggő kapcsolatait. Sok esetben a gazdálkodó, az önkormányzat, a vízgazdálkodó szerv, a hatóság, sőt a legkülönbözőbb államigazgatási tényezők (belügy, katasztrófavédelem, egyéb közmű üzemeltetők felügyelete stb.) együttműködését ellehetetleníti a bürokrácia.
- Végezetül talán az utolsó gátló tényező az ár. Ennek képzése, kialakítása, a végzett szolgáltatás pontos meghatározása egyaránt problémás.

A felsoroltakon túl szükséges még megemlíteni néhány olyan területet is, amely közvetlenül nincs kapcsolatban az öntözéssel, de közvetetten hatással lehet a gazdálkodók vízgazdálkodási problémáira. Címszavakban ezek a következők; termásvíz, visszasajtolási kötelezettség, szennyvízkezelés, vízkivételi problémák, belvíz, árvíz, a tározás stb.

Összefoglalva megállapítható, hogy az aszályra való felkészülés számos problémával terhelt. Túlmenően a klimatikus tényezőkön, amelyre nincs ráhatásunk, sorozatos hibákat követünk el a földhasználat, a talajművelés, a termesztéstechnológia, a termesztett növényfaj és -fajta kiválasztása és a vízellátás területén. Természetesen nincsenek csodák. Egy súlyos aszály mindig és mindenhol veszteségek okozója, de nem mindegy milyen mértékben. Az idei év tapasztalatai is azt igazolják, hogy a megfelelő szaktudás, a célirányos

technológia még kritikus időjárási viszonyok között is képes a károk enyhítésére. Számos példát lehet látni arra, hogy azonos termőhelyen, azonos növénykultúrával akár kétszeres terméskülönbségek is mutatkoztak, - igazolva a termesztési gyakorlat hatásait.

Köszönetnyilvánítás

Jelen áttekintés az irodalmi forrásokon túlmenően a MATE Agronómiai Tanszék munkatársainak vízhasznosítással kapcsolatos növénytermesztési kutatómunkájának eredményeit használta fel.

IRODALOM

- Anda A.*: 2005. A klímaváltozás hazai mezőgazdasági következményei. KLÍMA-21 füzetek. 41: 18–29.
- Brussaard, L.*: 2012. Ecosystem services provided by the soil biota. [In: Wall, D. H. et al. (eds.) Soil ecology and ecosystem services.] Oxford University Press. 45–58.
- Farkas I.–Gyuricza Cs.–Tarnawa Á.–Jolánkai M.*: 2013. Aszály és öntözés: a mezőgazdaság lehetőségei és korlátai. Hadtudomány. 23. 5: 472–478.
- Jolánkai, M.–Nyárai, H. F.–Kassai, M. K.–Sófalvy, Zs.–Tarnawa, Á.*: 2013. A water stress assessment survey based on the evapotranspiration balance of major field crop species. Növénytermelés. 62. Suppl. 351–354.
- Jolánkai, M.–Kassai, M. K.–Eser, A.–Kempff, L.–Tarnawa, Á.*: 2018. Water footprint of protein yield of field crop species based on evapotranspiration patterns. Review on Agriculture and Rural Development. 7. 1–2: 11–15.
- Jolánkai, M.–Tarnawa, Á.–Kassai, M. K.–Eser, A.–Kende, Z.*: 2021. Water footprint of the protein formation of six of field crop species. Environmental Analysis & Ecology Studies. 8. 3: EAES. 000686.
- Kassai M. K.–Tarnawa Á.–Nyárai H. F.–Eser A.–Kempff L.–Jolánkai M.*: 2017. A csapadék és a hőmérséklet évjárási hatása őszi búza fajták fehérje produkciójára. Növénytermelés. 66. 3: 1–9.
- Lakatos, M.–Bihari, Z.–Szentimrey, T.–Spinoni, J.–Szalai, S.*: 2016. Analyses of temperature extremes in the Carpathian region in the period 1961–2010. Időjárás. 120: 41–51.
- Pepó, P.*: 2010. Adaptive capacity of wheat (*Triticum aestivum* L.) and maize (*Zea mays* L.) crop models to ecological conditions. Növénytermelés. 59. Suppl. 325–328.

- Tarnawa, Á.-Kis, J.-Horváth, Cs.-Pósa, B.-Jolánkai, M.*: 2015. The impact of aridity and vulnerability interactions on some field crop species. *Georgikon for Agriculture*. 20. 1: 14-20.
- Várallyay, G.*: 2008. Extreme soil moisture regime as limiting factor of the plants' water uptake. *Cereal Res. Commun. Suppl.* 3-6. <https://www.jstor.org/stable/90002626>
- Wichelns, D.*: 2010. Virtual water and water footprints offer limited insight regarding important policy questions. *International Journal of Water Resources Development*. 26. 4: 639-651.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Dr. Jolánkai Márton
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Növénytermesztési-tudományok Intézet
Gödöllő
Páter Károly utca 1.
H-2100
jolankai.marton@uni-mate.hu

Dr. Kassai Mária Katalin - Kende Zoltán - Tarnawa Ákos
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Agronómiai Tanszék
Gödöllő
Páter Károly utca 1.
H-2100

Levéltrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő évjáratokban (2019–2020–2021)

¹KITH KÁROLY - ²ZELENÁK ANNABELLA - ²NAGY JÁNOS

¹Natur Agro Hungaria Kft., Váchartyán

²Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A mezőgazdaságban egyre nagyobb arányban alkalmaznak levéltrágya készítményeket, ezzel javítható a kultúrnövények ellenálló képessége növekedési fázisokban. Kutatásunkat A Debreceni Egyetem Látókép Növénytermesztési Kísérleti Telepén beállított kísérletben végeztük. Precíziós csepegtető öntözéses agrotechnika mellett vizsgáltuk a 2019, 2020 és 2021-ben természetes alapanyagú lombtrágyák hatékonyságát. A kukoricaállományt 7–8 leveles állapotban Natur Plasma T biostimulátor, Natur Active komplex lombtrágya, illetve cink és kén mono-adalékok levélre történő permetezéssel kezeltük. Ezen készítmények alkalmazása gyors és hatékony tápanyagbeépülést tesz lehetővé a vegetatív, vagy akár a generatív ciklusok során. A tenyészidőszakban a kukorica hibridek fontosabb paramétereit (SPAD, NDVI) mértük a kritikus fenofázisokban (12 leveles állapot, nővirágzás, fiziológiai érettség). A kukoricanövény fenometriai tényezőin kívül vizsgáltuk több csőparaméter alakulását is a lombtrágyázás hatását figyelembe véve (szemszám, ezerszemtömeg, csősúly, szem-csutka arány, csőhossz, csőátmérő). Az alkalmazott lombtrágyakezelés mind a három évjáratban terméstöbbletet eredményezett. Három év átlagában a kontroll parcellákban 19,382 t/ha eredményt ért el, míg a kezelés hatására 7,8%-kal magasabb termést, 20,914 t/ha-t kaptunk. A kapott eredmények alapján megállapítottuk, hogy a lombtrágyák használatával javult a kukoricaállomány állóképessége és hatására az alaptrágyázáson felül további termésnövekedéseket mértünk.

Kulcsszavak: kukorica, évjáratok, levéltrágya, öntözés

The effect of foliar fertilisation maize yield (*Zea maize* L.) in various crop years (2019–2020–2021)

¹K. KITH – ²A. ZELENÁK – ²J. NAGY

¹Natur Agro Hungaria Kft., Váchartyán

²University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

Foliar fertiliser products are being increasingly used in agriculture to improve the resistance of crops during their growth stages. Our research was carried out in an experiment at the Látókép Plant Production Experimental Station of the University of Debrecen. We investigated the efficiency of natural-based foliar fertilisers in 2019, 2020 and 2021 under precision drip irrigation agrotechnics. Maize stands at 7–8 leaf stage were treated with foliar sprays of Natur Plasma T biostimulant, Natur Active complex foliar fertilizer, and Zinc and Sulphur Mono additives. The application of these products allows a rapid and efficient nutrient incorporation during the vegetative or even the generative cycles. During the growing season, the main parameters (SPAD, NDVI) of maize hybrids were measured at critical phenophases (12 leaf stage, silking, physiological maturity). In addition to the phenometric factors of the maize plant, the evolution of several ear parameters was also studied, taking into account the effect of foliar fertilisation (number of grains, thousand grain weight, ear weight, cob to grain ratio, ear length, ear diameter). The applied foliar fertilisation treatments resulted in yield increases in all three crop years. Averaged over three years, the control plots yielded 19.382 t ha⁻¹, while the treatment resulted in a 7.8% higher yield of 20.914 t ha⁻¹. Based on the obtained results, it was concluded that the use of foliar fertilisers improved the vigour of the maize stand and resulted in additional yield increases over and above the basal fertiliser application.

Keywords: maize, crop years, foliar fertiliser, irrigation

Bevezetés

A levéltrágyázás rendkívül hatékony növénytrágyázási módszer, a műtrágyákkal együtt alkalmazva elősegíti a tápanyagok felszívódását és hasznosulását, növelve ezzel a termést és annak minőségét (Abbas és Ali 2011, Osman et al. 2013). Kádár (2008) szerint a levéltrágyázás jövőbeli alkalmazásának kispárcellás kísérleti alapokon kell bizonyítania létszerűségét. Szántóföldi kultúrákban ritkán fordul elő a Fe és Mn hiánya, viszont annál gyakoribb az állókultúrákban, mint például a kukorica. A Zn hiánya is gyakori a szántóföldön, különösen a P-ral jól ellátott meszes termőhelyeken. Tapasztalataik szerint az érzékeny kukorica Zn-hiány tünetei levéltrágyázással megszüntethető (Kádár és Csathó 2002). Fontos a talajhőmérséklet mérésére, vetéskori talajhőmérsékletre hazánkban leginkább érzékeny kultúra a kukorica. Ezáltal egyik fő kutatási irány a vetés előtti és vetéskori talajhőmérséklet vizsgálata (Ragán et al. 2014). További hazai kutatások bebizonyították a vizsgálati eredmények statisztikai feldolgozása során hogy, a tesztelt lombtrágyák alkalmazásával javul a kukoricaállomány kondíciója Víg et al. (2010). Számos hazai mellett, nemzetközi kutatások is arra az eredményre jutottak, hogy a levéltrágyák alkalmazása kimagasló szerepet játszanak a termés kialakulásában, továbbá annak beltartalmi értékeinek javításában (Fernández és Brown 2013). A levéltrágyázással növelhetjük a kukorica ellenálló képességét a biotikus és abiotikus stressz tényezőkkel szemben (Hoffmann et al. 2014). A kukorica alapvető fiziológias funkcióiban nélkülözhetetlen a hőmérséklet, azonban az ebből adódóan nagy terméspotenciálja miatt a vízigénye is magas. Nagy (2007) szerint a kukoricatermelés legnagyobb hazai problémája a vízhiány. A mai szélsőséges időjárási viszonyok mellett ez a megállapítás napjainkra teljes mértékben bizonyítást nyert. Ezzel egyetértve Pepó (2007) azt a megállapítást tette, hogy a tartamkísérleti eredményeiben öntözés nélkül az évjárat vízellátottsága jelentősen befolyásolta a kukorica terméseredményét. Szalóki (1989) megállapította, hogy a kukorica termesztésében a legvízigényesebb időszak július, augusztus hónapra esik, ezért a kukorica aszályérzékenysége nagy. A hazai ökológiai körülményeket figyelembe véve megállapítható, hogy a tenyészidőszakok többségében, a természetes csapadékesemények nem fedezik a kukorica nedvességigényét sem eloszlásban, sem mennyiségben (Dobó et al. 2017). A precíziós technológiák fejlesztésében jelentős szerepe van és lesz helyspecifikus növénytáplálásnak (Nyéki et al. 2021, Széles et al. 2021, Zelenák et al. 2022).

Anyag és módszer

A kísérlet helyszíne Debreceni Egyetem Látókép Kísérleti Telepen helyezkedik el. A talajtípusa mészlepedékes csernozjom, pH 6,3–6,5; Arany-féle kötöttség 43–47,6; humusztartalom 2,57%; talajvíz 7–9 m, a kísérlet területe 0,33 ha. Levéltrágya kezelés (7–8 leveles állapot) 5 l/ha Natur Active, 2 l/ha Natur Plasma T, 1 l/ha cink (mono), 1 l/ha kén (mono). A tenyészidőben lehullott csapadék mennyisége meghatározza a vizsgált évek hatásait (1. ábra).

1. ábra. A tenyészidőben lehullott csapadék mennyisége (2019–2020–2021)

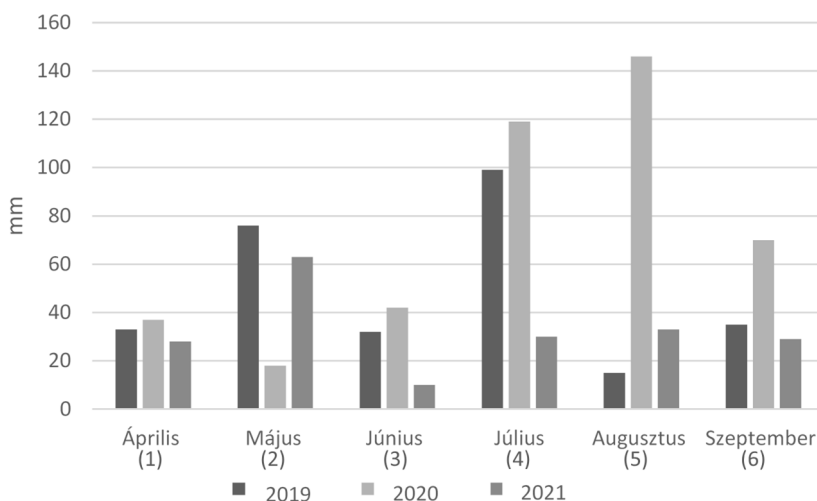
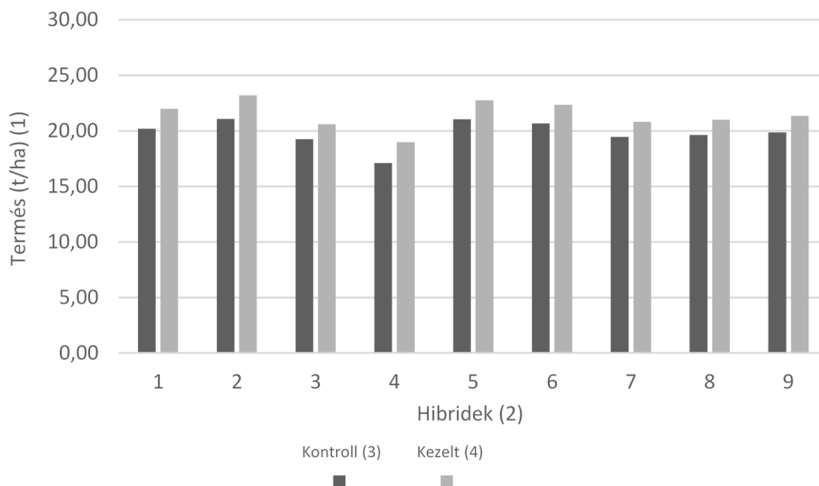


Figure 1. The amount of precipitation during the growing season (2019–2020–2021). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

Eredmények

A 2019-es évben betakarított hibridek terméseredményei bizonyítják a levéltrágyázásra adott pozitív válaszreakciót. Minden vizsgált hibrid 1 t/ha feletti többlettermést produkált. A vizsgált hibridek átlagában a kontroll parcellák terméseredménye 19,804 t/ha, a levéltrágya kezelés hatására 8,3%-kal magasabb a termés, 21,445 t/ha. Ezek közül is kiemelkedő a 2. hibrid kezelt-kontroll különbsége, amely 2,11 t/ha-t eredményezett (2. ábra).

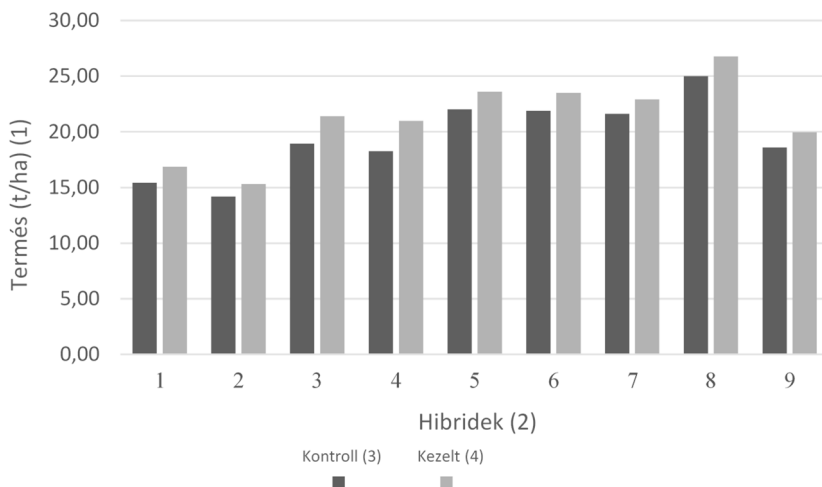
2. ábra. Kukorica hibridek terméseredménye (2019)

Figure 2. Maize hybrid yields (2019). (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Hybrids, (3) Control, (4) Treated

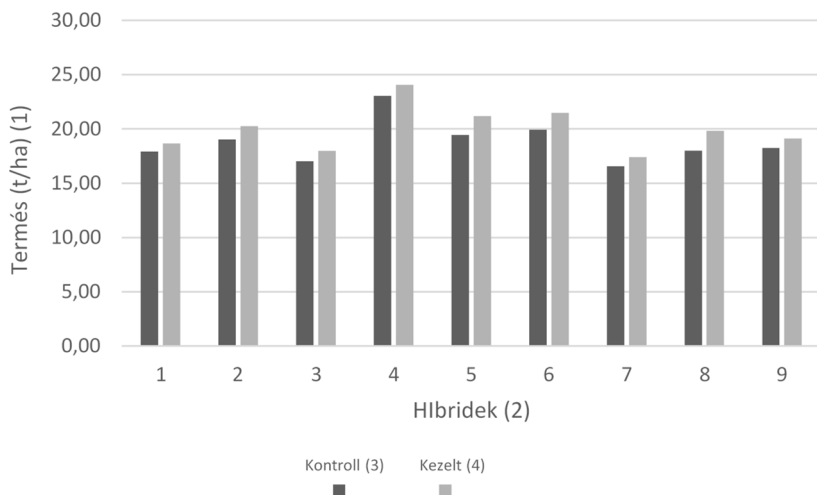
A 2020-ban vizsgált hibridek terméseredményeit értékelve megállapítottuk, hogy a levéltrágyázás hatására kilenc hibridből három kezelt állománya átlépte a 20 t/ha-t. A vizsgált hibridek átlagában a kontrollparcellák terméseredménye 19,558 t/ha, a levéltrágyázás hatására 8,8%-kal nagyobb termést mértünk, 21,265 t/ha-t. A 4. hibrid 2,71 t/ha terméstöbbletre volt képes a kezeletlen kontrollhoz képest (3. ábra).

2021-ben a kísérleti hibridek terméseredményeit értékelve megállapítottuk, hogy a vizsgált hibridek átlagában a kontrollparcellák terméseredménye 18,806 t/ha, a levéltrágyázás hatására a termés 20,005 t/ha, a többletermés átlagosan 6,4%. A 4. számú kukorica hibrid 23,04 t/ha kontroll termésszínhez képest a levéltrágyázás hatására 1,03 t/ha plusz termést tudott produkálni, 24,07 t/ha volt a maximális hozam. Minden esetben 5% fölötti terméstöbbletet tudtunk mérni a kontroll és kezelt növényállomány termésproduktója között. A vizsgált három év adataiból jól látszik, hogy a kukorica kultúrnövényként nagyfokú válaszreakcióval bír a terméshozamokban (4. ábra).

3. ábra. Kukorica hibridek terméseredménye (2020)

Figure 3. Maize hybrid yields (2020). (1) Yield (t ha⁻¹), (2) Hybrids, (3) Control, (4) Treated

4. ábra. Kukorica hibridek terméseredménye (2021)

Figure 4. Maize hybrid yields (2021). (1) Yield (t ha⁻¹), (2) Hybrids, (3) Control, (4) Treated

Következtetések

A precíziós kukoricatermesztés akkor tekinthető innovatívnak, ha az általunk elvégzett termesztéstechnológiák megfelelnek napjaink és a jövő kihívásainak. A lombon keresztül növény táplálás elengedhetetlen sarokköve a jövő hatékony és gazdaságos kukoricatermesztésnek. A lombon keresztül történő tápanyagutánpótlás – mint agrotechnikai elem – alkalmazása minden esetben kiemelkedő jelentőséggel bír a terméseredményekre és a hatékony, környezetkímélő tápanyag-visszapótlásra.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Abbas, M. K.–Ali, A. S.*: 2011. Az NPK lombozaton történő alkalmazásának hatásai bizonyos növekedésre két rozella (*Hibiscus sabdariffa* L.) fajtájának karakterei. *American Journal of Plant Physiology*. 6: 220–227.
- Dobó Zs.–Oláh I.–Farkas R.*: 2017. Talajszenzorok mérésének felhasználása különböző hazai régiókban történő tájgazdálkodás segítésére. *Tájökológiai Lapok*. 15. 2: 121–129.
- Fernández, V.–Brown, P. H.*: 2013. From plant surface to plant metabolism: the uncertain fate of foliar-applied nutrients. *Front Plant Sci*. 4: 289.
- Hoffmann R.–Varga Cs.–Karika A.*: 2014. Levéltrágyázás a gyakorlatban. *Agrárium*. 24. 8: 69–72.
- Kádár I.–Csathó P.*: 2002. A P_xZn kölcsönhatás vizsgálata kukorica monokultúrában. XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia. Siófok. 161–169.
- Kádár I.*: 2008. A levéltrágyázás fontossága és szerepe a növénytáplálásban. *Acta Agronomica Óváriensis*. 50. 1: 19–27.
- Nagy, J.*: 2007. Evaluating the effect of year and fertilisation on the yield of mid ripening (FAO 400–499) maize hybrids. *Cereal Res. Commun.* 35. 3: 1497–1507.
- Nyéki, A.–Kerepesi, C.–Daróczy, B.–Benczúr, A.–Milics, G.–Nagy, J.–Harsányi, E.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: 2021. Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. *Precision Agriculture*. 22: 5., 1397–1415., 19.

- Osman, E. A. M.–El-Masry, A. A.–Khatab, K. A.*: 2013. A nitrogénműtrágya hatása humán- és/vagy fulvosavak forrásai és lombpermetezése a rizs hozamára és minőségére. *Advances in Applied Scientific Research*. 4: 174–192.
- Pepó P.*: 2007. A kukorica (*Zea mays* L. termesztés ökológiai feltételeinek és agrotechnikai elemeinek értékelése. *Acta Agronomica Óváriensis*. 49. 2: 169–175.
- Ragán P.–Bakó I. K.–Sedlák G.*: 2014: Az eltérő vetésidővel összefüggő környezeti változások hatása a kukorica termésére. *Agrártudományi Közlemények*. 2014/55.
- Szalóki S.*: 1989. A növények vízigénye, vízhasznosítása és öntözővíz-szükséglete. [In: Szalai Gy. (szerk.) *Az öntözés gyakorlati kézikönyve.*] Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 100–154.
- Széles, A.–Horváth, É.–Rácz, D.–Dúzs, L.–Bojtor, Cs.–Huzsvai, L.*: 2021. Development of stomatal conductance of maize under moderately hot, dry production conditions. *Agronomy Research*. 19. 4: 2013–2025.
- Víg R.–Dobos A.–Molnár K.–Nagy J.*: 2010. Természetes alapanyagú lombtrágyák hatékonysága szabadföldi kísérletekben: I. Kukorica (*Zea mays* L.). *Növénytermelés*. 59. 4: 89–105.
- Zelenák A.–Kith K.–Balaout I.–Nyéki A.*: 2022. Lombtrágyakezelés hatása Ivola (FAO 350) és Mv Marfi (FAO 480) kukorica (*Zea mays* L.) hibrid termesztési eredményeire. *Növénytermelés*. 71. 2: 121–140.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Kith Károly
Natur Agro Hungária Kft.
Váchartyán
Fő út 133.
H-2164
kithkaroly@gmail.com

Dr. Nagy János – Zelenák Annabella
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Precíziós növénytermesztés Magyarországon

NAGY JÁNOS – BÚVÁR GÉZA

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A mezőgazdasági termelő a kornak megfelelően gondolkodva, három célt kell, hogy kitűzzön maga elé. Egyik, hogy magas színvonalon termelve, magas terméseredményeket érjen el. A másik, hogy féken tartsa a költségeket. A harmadik, hogy eleget tegyen a fenntarthatósági elvárásoknak. A precíziós gazdálkodás ezeket a célkitűzéseket képes kielégíteni. Ez azt jelenti, hogy egy-egy beavatkozással néha egymásnak ellentmondó célokat is képes kielégíteni. A precíziós gazdálkodásnak van néhány olyan jellemzője, amely lényegesen eltér a korábbiaktól, mondhatnánk, hogy a több évszázados, esetleg évezredes mezőgazdasági berögződésektől. Az egyik ilyen, hogy a termelés folyamatába, irányításába az agrotechnikai beavatkozásokat objektív mérésekre, észlelésekre építi. A másik jellemző, hogy ezen objektív mérések alapján a termelés folyamatába akar és képes beavatkozni. A harmadik, hogy az objektív észlelések, mérések nagy sűrűségűek, ezáltal táblán belüli térkép és cselekvési terv készíthető. Ebből az következik, ha az objektív mérések a táblán belül heterogenitást mutatnak, akkor a heterogenitás térkép szerűen jelenik meg, és erre heterogén választ lehet adni. Korábban az észlelések alapján a táblára vonatkozóan átlagolás készült és ez adta a feladat meghatározás alapját. Természetesen a korábbi időszak tapasztalatait, saját és mások termelési tapasztalatait, valamint a kísérletek eredményeit a termelés során ma is felhasználják, mert a termelés tervezése és indítása csakis ez alapján történhet. A precíziós gazdálkodás a termesztéstechnológiák folyamatában teszi lehetővé a hatékonyság növelését.

Kulcsszavak: fenntarthatóság, precíziós gazdálkodás, agrotechnika, hatékonyság

Precision crop production in Hungary

J. NAGY - G. BÚVÁR

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

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

Farmers, thinking in line with the times, must set themselves three goals. One is to achieve high yields by producing to a high standard. The second is to control costs. The third is to meet sustainability requirements. Precision farming can meet these objectives. This means that it can satisfy sometimes conflicting objectives with a single intervention. There are some features of precision farming that are very different from the centuries-old, or even millennia-old, agricultural traditions. One of these is that it bases agrotechnical interventions in the process and management of production on objective measurements and observations. The other is that it is willing and able to intervene in the production process on the basis of these objective measurements. The third is that objective observations and measurements are made at high density, so that a map and action plan can be drawn up within the field. It follows that if the objective measurements show heterogeneity within the board, then the heterogeneity will appear as a map and a heterogeneous response can be given. Previously, the observations were averaged over the field and this provided the basis for the task definition. Of course, the experience of the previous period, the experience of one's own and others' production, and the results of experiments are still used in production today, because only on this basis can production be planned and started. Precision farming makes it possible to increase efficiency in the process of cultivation techniques.

Keywords: sustainability, precision farming, agrotechnology, efficiency

Precíziós helymeghatározás és automata kormányzás

A precíziós gazdálkodás nagymértékben kötődik a technikai, technológiai tudományos eredményekhez és a tudományos eredmények tárgyi megvalósulásaihoz. Ilyenek a helymeghatározó rendszerek és az ehhez szorosan kötődő automata kormányzás. Ilyen a rendkívül szerteágazó szenzorálásoknak és az ehhez szorosan kötődő adatgyűjtési és adatátviteli technológiák használata. A megvalósulás első fázisa a helymeghatározó rendszerekre épülő és azokhoz kapcsolódó szoftveres alkalmazások gyűjteménye. A helymeghatározó rendszerek az életünket ma már teljesen behálózzák, azokat nagyon sok helyen alkalmazzák. A járművek, az okos telefonok, az okos órák a mindennapjainkban helymeghatározó rendszerrel működnek. A helymeghatározó rendszerek váltották fel a geodéták eddigi műszereit. A háromdimenziós munkálatoknál is a lézert kiszorították a helymeghatározó rendszerek.

A mezőgazdaságba is nagymértékben bevonult a helymeghatározás, és a precíziós gazdálkodásnak az első generációjában szorosan összekötődik az automata kormányzással. Többféle helymeghatározó rendszer létezik, a mezőgazdaságban a valós idejű kinematikus helymeghatározás (RTK), ami széles körben és a mezőgazdaság igényeinek megfelelően alkalmazható. Ennek a különlegessége a többihez képest, hogy a helymeghatározás időtől független és nagyon pontos. A helymeghatározó rendszerekre általában jellemző, hogy egy adott pontnak, egy adott pillanatban a meghatározott koordináta értékek egy idő – pl. fél óra, egy óra, vagy egy év – elteltével nem ugyanazokat az értékeket mutatják. Az RTK egyedüli rendszer, amely az időtől függetlenül mindig pontosan ugyanazt a koordináta értéket adja egy adott pontra, egy adott útvonalra. Ennek az a jelentősége, hogy így időtől függetlenül, helyileg rendkívül pontosan, az agronómiai beavatkozások egymásra épülhetnek. A másik ehhez kötődő, ehhez nagyon hasonló, hogy elsősorban a széles sorközűeknél – és a kukorica ide tartozik – a sor és a sorköz nagyon pontosan meghatározható, és így külön funkciót és külön művelést kaphat. Ez a kukoricatermelésben az egyik legfontosabb agronómiai előrelépés.

Önmagában rendkívül fontos, hogy a helymeghatározó rendszer és az automata kormányzás segítségével egy pontból kiindulva egy másik pontot meghatározva nagyon pontos egyenest kapunk. Ehhez az egyeneshez a távolságot meghatározva párhuzamosokat tudunk automatikusan leképezni,

de automatikusan párhuzamosok képződnek akkor is, ha az első út nem egyenes, hanem egy íves, görbe vonal volt. Ez lehetővé teszi azt, hogy ha egy meghúzott egyenestől vagy egy görbe vonaltól párhuzamosan akarunk műveletet végezni, akkor a művelőeszközök centiméter pontosságú szélességével határozzuk meg a párhuzamos vonalat, így a műveleteknél a csatlakozások tökéletesek lesznek.

Precíziós csatlakozások és szakaszvezérlés

A gyakorlatban az RTK-s helymeghatározó rendszerrel és automata kormányzással rendelkező önjáró gépek – elsősorban traktorok – azért tudtak nagyon gyorsan sikert aratni, mert a pontos csatlakozásokból származó megtakarítások néhány év (3–3,5) alatt, az automata kormányzás-ráfordításai megtérülnek.

A következő applikáció a fordulónak az automatikus végrehajtása. Amikor a tábla végén a traktoros megcsinál egy fordulót, annak a fordulónak a másolását a gép automatikusan el tudja végezni. Konkrétan, amikor kieri a tábla végére, kiemeli a munkagépet, megfordul, beáll a következő fogásra és leereszti a munkagépet. A kényelmi funkciókon kívül, fontos agronómiai előny, hogy a munkagépek munkába állítása és munkából való kivétele mindig ugyanabban a vonalba történik, így egyértelmű, hogy mi marad forgónak, amit meg kell művelni.

Nagyon fontos applikáció a szakaszvezérlés is. A szakaszvezérlés azt jelenti, hogy a különböző munkagépeknél automatikusan vezérelhető, hogy mikor dolgoznak és mikor nem, illetve hogy melyik részük, melyik hányaduk dolgozik és melyik nem. Ha a területet a munkagép valahol már megművelte, és egy következő menetben azt keresztezi vagy érinti, akkor automatikusan kikapcsol. A kukorica vetésénél ez azt jelenti, hogy amikor a szabálytalan tábla szélére kieri a vetőgép, és a következő menetnek valamelyik sora a már elvetett részre ér, akkor a gép vető része ott automatikusan kikapcsol. Ugyanezt tudják csinálni a növényvédő gépek, a műtrágyaszórók, de ma már szakaszvezérlést tudnak az ekék, a sorközművelő kultivátorok is.

Ez a hármas célnak, funkciónak a megvalósulása, ha az elvetett vagy megművelt területet újra nem vetjük, vagy nem műveljük, akkor költséget takarítunk meg. A dupla tőszám termésdepressziót okozhat, ha nem vetünk

rá, akkor ez nem következik be. Különösen a növényvédő szerek, a műtrágyák duplikációinál nagy környezeti károsodás éri a területet, amennyiben nem duplikálódik, akkor eleget teszünk a fenntarthatósági követelményeknek.

Fontos helymeghatározó rendszerre alkalmazott megoldás az, hogy szakaszvezérléssel tudatosan, speciális információ alapján kijelöljük, hogy a gép hol dolgozzon, másutt ne. Ilyen lehet a gyomfoltoknak a gyomirtása, amikor a gyomfoltokon átmenve azok a szórófejek kapcsolódnak be, amelyek érintettek a gyomfoltban, és ha kiér a foltból, akkor ezek automatikusan kikapcsolnak.

Hasonló, ha egy erodált területen valamilyen plusz kezelést, plusz szerves trágyázást akarnak megvalósítani, az erodált foltra érve bekapcsol, és elhagyva azt, kikapcsol a gép. Ezek mind költséget takarítanak meg, pozitívan befolyásolják a termést, és megfelelnek a fenntarthatósági elvárásoknak is.

Heterogenitás és heterogén válaszok

Ha a területen heterogenitást észlelünk, akkor műszaki megoldásokkal heterogén választ tudunk adni. A heterogén válaszadás alapfeltétele, hogy megismerjük a heterogenitás okát. Egy táblán belül nagyon sok minden okozhat heterogenitást. Ha csoportokba rendezzük a heterogenitási okokat, akkor vannak egyéves hatású és többéves hatású okok. Egyéves hatású ok lehet az agrotechnikai hiba, a vadkár vagy például különböző növényvédelmi problémák foltos megjelenése, gyomfoltok vagy kártevő kártételi foltok. Ha ezeket időben észleljük, akkor a termelés folyamatába még be lehet avatkozni. A többéves okok lehetnek talajeredetűek, vagy víz okozta problémák. A legfontosabb az, hogy a pontosan meghatározzuk azt, ami a talaj foltot okozza, és az egész táblán ezt térképszerűen kell megjeleníteni. Ehhez nem elégséges, és rendkívül drága, a nagyon sűrű talajminta-vételezés, talajfúrás, a mintagödör ásás és ezek laboratóriumi vizsgálata. A térképen való megjelenítéshez különböző talajszkennerekkel próbálkoznak és vannak biztató eredmények, amelyekkel a terület talajtulajdonságait rendkívül sűrűn felvételezik, amelyből térkép készíthető. A talajtulajdonságokból adódóan a térkép megmutatja, hogy melyik az, amelyiknél nagyobb vagy kisebb termés várható, de ennek az eltérésnek a mértéke, a foltok kiterjedése, évjáratonként nagyon változó. Foltot jelent a víznyomás, a belvíz is. Az előbb említett talajtulajdonságok

hatásai konzekvensen minden évben egy irányba mutatnak, addig a belvizes foltoknál, amikor esős év van, és a belvíz megjelenik, a hatás negatív. Nem esős években, amikor a belvíz nem jelenik meg, nincsenek ezek a foltok, ezek a területeken nagyobb a termés – vagy a környezetüknél mindenképpen nagyobb a termés – mert a vízgazdálkodásuk a száraz területekhez képest kedvezőbb.

Érdeemes szólni két okról, ami heterogenitást okoz. Az erózió elleni védekezés leghatásosabb módja a rétegvonal mentén művelés. Ezt a helymeghatározó rendszerrel és az automata kormányval rendelkező gépek könnyedén meg tudják csinálni. A belvizes foltokról a víz táblán belüli elvezetése szintén jól megoldott. Az RTK helymeghatározása háromdimenziós, a tábla akár munka közbeni bejárásával felvételezi a magassági pontokat és egy szoftver magassági térképet készít. Ezen kirajzolódnak azok a mély teknők, amelyekben belvíz keletkezhet. Egy másik szoftver a víz táblaszélre való kivezetését tervezi meg, megmutatva a levezetés útvonalát és az elvezető csatorna mélységét. Ezek koordinátáit a traktornak átadva, az végigmegy ezen az úton és vezérli az ároknyitó mélységét.

A heterogenitások okának megállapítása után könnyű eldönteni, hogy mi a teendő a különböző foltokkal. Ezeket a foltokat a térképen pontosan meg kell jelölni, ezek lesznek a különböző menedzsment zónák. A heterogenitás okainak felderítése mellett fontos az eltérő tulajdonságú területek várható termőképességének megállapítása. Ehhez adnak támpontot a hozamtérképek (ha lehet, több év adata), műholdas termésbecslések (több év). Ha a termőképességi különbségek tartósak, akkor a technológiai szintet (tápanyagmennyiség, tőszám) is hozzá kell igazítani.

Precíziós technológiák a kukoricatermesztésben

A precíziós technológiák használata jelentősen növekszik a kukoricatermesztésben, különösen a vetőmag előállításban és a csemegekukorica termesztésben. Az automata kormányzással elérhető párhuzamos mozgás a kukoricánál azt jelentheti, hogy a vetőgépeknél fölöslegessé válik a nyomjelző. A pontos csatlakozást a helymeghatározó rendszerekkel az automata kormányzás produkálni tudja. Nagyon fontos a szakaszvezérlés, hogy a szabálytalan táblákon egymásra futó sorok, vagy a szabályos táblákon is a hosszanti és a

forgóknál ne legyen dupla vetés vagy növényvédelem, ne legyen dupla műtrágyaszórás, vagy amikor kultivátorozunk, a hosszanti irány végeztével a forgó szélénél a kultivatort a gép automatikusan emelje ki és ne vágja ki a forgót. A precíziós kukoricatermesztésnél a fogások nagyon fontosak, mert a párhuzamos mozgások lehetnek egy munkagép, két munkagép vagy még több, 3-4 munkagép szélességűek is. Ha a forgások 3-4 munkagépenként történnek, akkor a végén az egész területnél nagyon pontos csatlakozással lesz meg a művelés és a vetés. Ennek következtében, ha több munkaszélességben tudok fordulni és nem csak az előző művelés mellé, akkor elmarad a szűk terület miatti rendkívül nehézkes forgás, ipszilontolás, így a vetés is kedvezőbb lesz. Ez nagymértékben meg növelni a munka termelékenységét és hosszú gépkapcsolattal is lehet fordulni. Természetesen ugyanez vonatkozik a kultivátorozásra is.

Fontosak és lehetségesek az egymásra épülő munkaműveletek. Az automata kormányzással és a helymeghatározó rendszerrel rendelkező gépekre az jellemző, hogy elsősorban a műszaki megoldásban rejlik az eredmény. Agronómiai fejlesztést igényel viszont az egymásra épülő technológiáknak a megtervezése, illetve rendszerbe való beillesztése. A kukorica esetében, ha a sortávolságnak megfelelő 76 cm szélesen elhelyezett lazítókésekkel végezzük a talajművelést, akkor ilyen szélességbe kell majd a többi műveletet is végezni. Ha van helymeghatározó rendszer és automata kormányzás, akkor az ősszel így elvégzett talajművelésre tavasszal úgy kell vetni, hogy a sorok pontosan a kések nyomába illeszkedjenek. Ha az alapműveléskor a kések mellett a jövődő sor közelébe a talajba juttatjuk az alapműtrágyát, akkor a következő években a kések vonalában vetünk, ahol a legmélyebb és legjobb a művelés, és ahol a legközelebb van a kiszórt alpműtrágya. Nem szükséges más, mint ugyanazokat a koordinátaértékeket kell használni a vetésnél, mint amit a lazításnál. A vetésnél a precíziós gazdálkodásba jól beilleszthető gépek rendelkeznek magágy-készítő egységgel, amelyek csak a sorban végzik el a magágy-készítést 30-35 cm szélességben. Megtisztítják a talajt a mulcstól, elmunkálják, hogy jó körülmények közé a lehessen vetni a kukoricát. A talajfertőtlenítést és a starter-trágyázást is elvégzi, és a mulcsot, szármaradványt, göröngyös talajt a sor közé fogja kitúrni.

A következő kultivátorozásnál ugyanazokat a koordináta értékeket kell használni, mint az alapművelésnél, majd a vetésnél. A kultivátor rendkívül

pontosan tudja a területet – a sort és a sorközt – megművelni. A kultivátorozással együtt – vagy attól függetlenül – ha fejtrágyázást végzünk, azt is ugyanazokkal a koordináta értékekkel lehet és kell végezni, ezért pontosan követve a sort, a sor közelébe juttatjuk a hatóanyagot. Ilyenkor a növényvédelmi beavatkozást is el lehet végezni, például a kukoricabogár lárvája elleni védekezést. A lárvák kelésének hősszeg-igénye nagyon hasonló a kukorica igényéhez. A hidegebb tavaszokon később történik meg a kelés, a melegebb tavaszokon hamarabb. Ha lassú, vontatott a kelés, akkor a vetéssel egy menetben kijuttatott talajfertőtlenítőnek a hatása elmúlik, ezért csak a kelés idején kijuttatott talajfertőtlenítő tud hatásos lenni, ami ezzel a technológiával megoldható. Az állomány megfigyelésnél, az állomány talajának hőmérséklet regisztrálásával pontosan kiszámolható, hogy mikor következik be a kukoricabogár lárvájának a kelése, és az alkalmazott technológia hatásos lesz. Ugyanez a helyzet a lomb alá való permetezésnél is. Vannak olyan technológiai megoldások, amelyek nem táp-kultivátorozás, hanem kifejezetten fejtrágyázás. Viszonylag magas, 1 m vagy azt kicsit meghaladó növénymagasság esetén is ki tudják juttatni a fejtrágyát.

A fejtrágyát is a heterogenitásnak megfelelően lehet kijuttatni. Végetül a betakarításnál is ugyanazokat a koordináta értékeket használják, mint korábban, ezért pontosan a soron vezeti az automata kormány a kombájnt.

A precíziós kukoricatermesztési technológiában fontos a sor-sorköz megkülönböztetése. Van olyan nézet a taposási károk elkerülése érdekében, hogy soha, még a vetés előtt sem járnak a soron, mindig csak a sorközben, ezzel a technológiával megoldható. A sorba kell koncentrálni a tápanyagot, a gyomirtást, a növényvédelmet és természetesen a vetést. A sorköz ahol járunk, az előző időszak szármaradványaival takarhatunk, mulcsozhatunk. Ez Magyarországon nagy kihívás, mert a mulcsnak jó lenne kihasználni azt a tulajdonságát, hogy csökkenti a talaj párolgását, az evaporációt. Ugyanakkor a kukoricánál és még néhány melegigényes növényünknel a magyar klíma alatt a mulcsnak a néhány fokos talajhűtése is meg tudja nyújtani a tenyészidőt, ami nem kívánatos. Ezt úgy érhetjük el, hogy a sorközben van mulcs és ott csökken a párolgás, a sorban viszont, ahol fontos a talajnak a felmelegedése, azt megtisztítjuk a maradványoktól.

A sorközben jár az erőgép, a vontató, vagy az önjáró gép kereke, ott járnak a munkagépek, így a permetező- vagy műtrágyaszóró gépek kerekei is. Ezzel

tökéletesen megvalósítható az iker- vagy triplakerekezés alkalmazása. A gépek nyomása nem lesz túlságosan nagy, a kerekeket úgy állítjuk be, hogy azok mindig a sorközben járjanak.

A táblaheterogenitás problémaköre a kukoricánál nagyon izgalmas. Egyrészt a kukorica sokszor elszenvedi az agrotechnikai hibákat, de a vadkárt is. Vadkár érheti a kukoricát vetés, kelés után, amikor kiszedik az állatok a földből az elvetett magot, vagy lecsipkedik a kelő növény hajtáscsúcsait. Ezt időben kell érzékelni és azokon a sorokon elfogadhatóan lehet kijavítani a hibákat. A kukoricánál kihívás a gyengébb talajadottságú foltoknak a tápanyag-ellátása. A kukorica a legnagyobb termékproduktummal, szárazanyag-produktummal rendelkező növény. A nagy produkcióhoz nagy tápanyag-mennyiségre van szükség, amely érdemben képes meghaladni a talaj tápanyag-szolgáltató képességét. Az egy vagy két alkalommal kiadott trágyát a talaj folyamatosan kell, hogy szolgáltatssa a tenyészidőszakban a növénynek. Vannak olyan talajok, amelyek erre nem képesek, elsősorban a laza talajok, az alacsony szervesanyag-tartalmú talajok. Táblán belül is lehetnek olyan heterogén foltok, amelyeknél a tábla egy része ezt a puffert jól tudja biztosítani vagy kevés kiegészítéssel, egy vagy két fejtrágyázással, és vannak olyan foltok, amelyek nem. Ilyenek az erodált foltok, vagy a különböző talajféleséget tartalmazó táblák – így a nyírségben vagy Pest megyében, vagy éppen Észak-Bácskában –, ahol a lankás területnél a domb teteje homok, az alja pedig jóval kötöttebb talaj. A lazább területeken hamarabb elfogy a növény számára a tápanyag. A megoldás, nem biztos, hogy a foltokat arra a szintre tudja emelni, mint a mélyebb területek, de tudja javítani, ha többszöri alkalommal juttatjuk ki a trágyát. A talajtérkép alapján kell ütemezni a trágya kijuttatását.

A belvíz káros hatása a kukoricánál is jelentős lehet. Amikor belvíz visszahúzódik, nincs már felszíni víz, és a talaj se csillog, de még nem tudunk a talajra rámenni akkor, hogy ne gyomosodjon a terület drónokkal, vagy önjáró permetező gépekkel kell megoldani. Amikor a talajra rá lehet menni, akkor azonnal el kell végezni a talajmunkát és a vetést is. Erre a strip-till és a sorközt megkülönböztetni tudó vetőgépek alkalmasak. A belvíz alapvető hátrányba hozza a területet. A belvíz foltok negatív hatása nem csak abban jelentkezik, hogy ott belvíz volt, hanem abban, hogy a gyomosodás, az elhúzódó talajmunka és a gyomos területek utómunkái annyira elporosítják a talajt, hogy nem lesz tökéletes a talajművelés. A nagy termés kiesést az okozza,

hogy ezeken a foltokon nincs meg a megfelelő tőszám, nincs homogén kelés, ezek elsősorban a vetéssel összefüggő hibák. A precíziós technikai eszközök segítségével ezek nagymértékben javíthatók, kiküszöbölhetők.

Új fejlesztések a precíziós gazdálkodási rendszerekben (új generáció)

A precíziós rendszerek fejlesztése a kukoricatermesztést is segítik. Az RTK, plusz-mínusz 2 cm pontosságú helymeghatározó rendszer vezérli a munkagépet és a munkagépre is különböző érzékelő-letapogató rendszerek (lézer vagy videokamerák) vannak felszerelve. A képfeldolgozó rendszerek pontosan mutatják azt, hogy hol vannak azok a pontok, amelyek fontosak, és ennek megfelelően kapcsolják a munkagépet, ha gyomot észlel, akkor a permetező, csak ott fog permetezni, ahol a gyom van és a tápanyag-kijuttatást is képes vezérelni. A precíziós gazdálkodásnak egy következő generációja kezd elterjedni, ez abba a fázisba ért, hogy a gyakorlati alkalmazása kezd gazdaságos lenni. Az új fejlesztés lehetővé teszi, hogy az állományban vagy az állomány körül elhelyezett érzékelőkkel folyamatosan megfigyelhető az állomány. Jelzi a nem kívánatos változásokat pl.: az okos telefonon. Ezek alapján pontosan meg kell határozni, hogy ez az egész területen, homogén módon vagy heterogén módon jelentkezik. Ha heterogén módon, akkor ezt a heterogenitás térképen kell megjeleníteni. A választ vagy automatikusan, vagy az agronómiai vezető által azonnal meg kell adni, heterogén vagy homogén módon.

Az állományban elhelyezhető eszközök például a talaj tulajdonságait mérő eszközök, melyek különböző mélységben a talaj nedvességtartalmát, a talaj hőmérsékletének a vizsgálatát végzik. Ezek az öntözéshez, a különböző növényvédelmi beavatkozáshoz adnak támpontot. A talaj állapotára vonatkozó méréseket lehet végezni. Elsősorban az állományba történő víz-levegő arányának a helyreállítását magában foglaló műveletek, kultivátorozás idejét lehet ütemezni a cserepedés vagy az időjárás okozta káros megszüntetésére. Fontosak a meteorológiai adatok, a csapadék, a hőmérséklet, a szél, illetve a levélnedvességnek a mérése, amelyek összefüggésben vannak a növényvédelmi teendőkkel. Azután a növények vizsgálata, amelyek a növények fenológiai fázisát, a levélfelület nagyságát, a fotoszintézis intenzitását tudja mérni, segítve a szakaszolt tápanyag-ellátást, az öntözést.

A néhány ponton végzett vizsgálatok eredményeit az egész területre kiterjeszteni elsősorban a fényképezéssel lehetséges. A fényképek lehetnek, vagy multispektrális felvételek, és történhetnek műholdról, drónról, vagy az állomány közelében elhelyezett, az állomány fényképezésére alkalmas kamerákkal. Ezek megadják azokat az információkat egyrészt, hogy mi a probléma, másrészt hogy ez hol jelentkezik, és ez alapján a beavatkozást el lehet indítani. Az érdekessége ennek az új generációnak, hogy önmagában ezek a műszaki fejlesztések nem adnak teljes megoldást. Nem olyan, mint a párhuzamos nyomkövetés vagy a szakaszvezérlés, amit ha önmagában használunk a művelet során, akkor közvetlen megtakarítások vannak, vagy elkerüljük a duplikációt, ami károsodást okoz a növényben. Ezekre az információkra agronómiai fejlesztést, vagy a fejlesztések eredményét kell ráhelyezni, hogy ezek alapján a beavatkozás elég erőteljes és hasznos legyen. Az új generáció informatikai fejlesztései nem elégségesek a jó eredményhez, hanem ehhez agronómiai fejlesztések szükségesek, például a növényvédelmi előrejelzést, a tápanyag-ellátást, az öntözést az állományban történő talajművelési eljárásokat illetően.

A kukoricára jellemző problémák közül az egyik a növény fejlődésének kezdeti időszakában a talajfelszínnek, a sorköznek a cserepesedése, vagy a kompaktálódása. A kukorica nagyon érzékeny a cserepesedésre, ezt feltétlenül meg kell szüntetni. Rendkívül látványos a cserepesedés hatására a növényeknek a „vergődése”, nagyon gyenge a növény, sárgul. A másik a növényállományban jelentkező kompaktálódása a talajnak. Agyagos vályogtól kötöttebb talajok erre nagyon hajlamosak, Magyarországon elsősorban a réti jellegű talajok, az Alföldön vagy a folyók mellett jelentkező talajok, amelyek a száraz és nedves időszakok és a nagy hőmérséklet váltakozása következtében úgy tömörödnek, hogy a kukoricának szükséges talaj víz-levegő aránya nem áll rendelkezésre és megáll a növekedés. Ennek az érzékelésére műszerekre és eszközökre van szükség és ezek alapján a beavatkozások elvégezhetők. Fontosak a betakarítás precíziós megoldásai. Kombájnolással nagyon sűrű felvételezés lehetséges a termés mennyiségére, víztartalmára és beltartalmára is. Ezek alapján lehet térképet kapni terméseredményről, a táblán belüli víztartalomról, a beltartalomról. Ezek nagyon látványosak, és a precíziós gazdálkodás elindításában nagy szerepet játszottak, de érdemes ezeket a helyükön értékelni, mert ezek az utolsó fázisokról kapott eredmények, amikor már nem lehet beavatkozni. Ezek alkalmasak annak az elemzésére, hogy a táblának a különböző részein,

pontjain lévő adottságok mit jelentenek a tárgyévben, az eredmény szempontjából. Ez nagyon fontos, de önmagukban ezek csak információk, amelyeket az egész rendszerben együttesen hasznosítva lehet a termelés érdekében felhasználni.

Ha a kukoricát szenázsként hasznosítjuk, ezek a betakarító gépek alkalmasak a termés mérésére és hozamtérkép készítésére. Méri a szecskázott anyag nedvességtartalmát és legfontosabb minőségi paramétereit és térképen való megjelenítésén túl képesek a szenázsmínőség javítása érdekében beavatkozni. Így a szecska nedvességtartalmának függvényében automatikusan változtatják a szecska hosszát vagy a nedvesség függvényében adagolnak olyan adalékokat, amelyek elősegítik az erjedést. A beltartalom folyamatos mérése információt ad kiegészítő anyagok adagolására.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Berzsényi Z.-Győrffy B.*: 1996. A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 45. 2: 281–296.
- Bocz E.-Nagy J.*: 1981. A kukorica víz- és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. *Növénytermelés*. 30. 6: 539–549.
- Csathó P.*: 1997. Összefüggés a talaj K-ellátottsága és a kukorica, őszi búza és lucerna K-hatások között a hazai szabadföldi kísérletekben, 1960–1990. *Agrokémia és Talajtan*. 46: 327–345.
- Csathó P.*: 2003. Kukorica N-hatásokat befolyásoló tényezők vizsgálata az 1960 és 2000 között publikált hazai szabadföldi kísérletek adatbázisán. *Agrokémia és Talajtan*. 52: 169–184.
- Csizmazia, Z.*: 1990. The development of fertilizer spinner for low rate fertilizing. *Hungarian Agricultural Engineering*. Gödöllő. 3: 22–23.
- Győrffy B.-Berzsényi Z.*: 1992. Martonvásári vetésforgó kísérlet 30 év termésadatának összesítése, 1961–1990. [In: Debreczeni B. (szerk.) *Trágyázási kutatások 1966–1990.*] Akadémiai Kiadó. Budapest.

- Gyuricza Cs.*: 2014. A talaj- és környezetminőség javítása és fenntartása növénytermesztési módszerekkel. MTA doktori értekezés. Szent István Egyetem. Gödöllő.
- Kemenesy E.*: 1972. Földművelés – Talajerőgazdálkodás. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Mándy Gy.*: 1962. Nemesített kukoricafajták súlyváltozásai különböző környezetben a tenyészidő folyamán. [In: I'só I. (szerk.) Kukoricatermesztési kísérletek 1958–1960.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 20–27.
- Nagy J.*: 2012. A debreceni kukorica tartamkísérlet kutatási eredményei. Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma. Debrecen.
- Nagy J.*: 2012. Versenyképes kukoricatermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Nagy J.*: 2019. Komplex talajhasználati, víz- és tápanyag-gazdálkodási tartam-kísérletek 1983-tól a Debreceni Egyetemen. Növénytermelés. 68. 3: 5–28.
- Nyéki, A.*: 2016. Relationship between precision crop production and sustainable agriculture. PhD Thesis. Széchenyi István University. Mosonmagyaróvár.
- Nyéki A.–Gombos B.–Nagy J.*: 2020. Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize modellel a Debrecen-Látókép tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával. Növénytermelés. 69. 1: 33–52.
- Nyéki, A.–Kerepesi, Cs.–Daróczy, B.–Benczúr, A.–Milics, G.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: 2019. Maize yield prediction based on artificial intelligence using spatio-temporal data. [In: Stafford, J. V. (ed.) Precision Agriculture '19.] 1011–1017.
- Nyéki, A.–Kerepesi, C.–Daróczy, B.–Benczúr, A.–Milics, G.–Nagy, J.–Harsányi, E.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. Precision Agriculture. 22. 5: 1397–1415.
- Nyéki, A.–Milics, G.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: 2013. Improving yield advisory models for precision agriculture with special regards to soil compaction in maize production. [In: Stafford, J. V. (eds.) Precision Agriculture '13]. 443–448.
- Nyéki, A.–Milics, G.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: 2017. Effects of soil compaction on cereal yield: review. Cereal Res. Commun. 45. 1: 1–22.
- Pepó P.–Vad A.–Ábrahám É. B.–Szabó É.*: 2019. Lépések a precíziós technológia elemeinek bevezetésére. Mezőhír. 23. 4: 36–41.
- Szász G.*: 1988. Agrometeorológia. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Széles, A.–Kovács, K.–Ferencsik, S.*: 2019. The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service. 123. 3: 265–278.
- Széles, A.–Nagy, J.–Rátonyi, T.–Harsányi, E.*: 2019. Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. Maydica. 64. 2: 1–14.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Dr. Nagy János - Búvár Géza
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*nagyjanos@agr.unideb.hu

A kukorica öntözése, technológiai háttere

¹NYÉKI ANIKÓ – ²NAGY JÁNOS

¹Széchenyi István Egyetem MÉK

Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

²Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Az öntözés-fejlesztés ma egyik kulcseleme az innovatív kukoricatermesztésnek. Az öntözött területek nagyságának növelése gazdasági- és környezeti szempontból is elvárás a gazdálkodási rendszerekben. Magyarországon a vízkeresleti és vízkínálati fejlesztési cél 2030-ra 400 ezer ha öntözött terület. 2020-ban ez nem érte el a 100 ezer hektárt. A korszerű növénytermesztési technológiák alkalmazása és bővítése a klímaváltozás enyhítésének egyik alapja, melyhez hozzájárul az öntözőrendszerek telepítése és a víznyerőhelyek kiépítése. Ugyanakkor elvárás a technológiától, hogy környezetkímélő, vízzel takarékos, hatékony legyen, és garantálja a termésbiztonságot, eredményezzen magasabb hozamot.

Kulcsszavak: öntözés, kukorica, aszály, vízfelhasználás

Irrigation and technological background of maize

¹A. NYÉKI - ²J. NAGY

¹Széchenyi István University Faculty of Agricultural and Food Sciences,
Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

²University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management,

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

Today, irrigation development is a key element of innovative maize production. Increasing the irrigated area is an economic and environmental requirement in farming systems. In Hungary, the water demand and water supply development target for 2030 is 400,000 ha of irrigated area, compared to less than 100,000 ha in 2020. The use and expansion of modern crop production technologies is one of the foundations for climate change mitigation, with the installation of irrigation systems and the development of water catchments. At the same time, technology is expected to be environmentally friendly, water-efficient and efficient, and to guarantee crop safety and higher yields.

Keywords: irrigation, maize, drought, water use

Bevezetés

Az öntözési technológiák nagy beruházási költséggel járnak, valamint a fenntartási, üzemeltetési igényük is jelentős, így a megtérülésük gyorsabb, ha minél nagyobb területre építik ki. Az öntözési rendszernek hatékonynak kell lenni; elvárás, hogy az öntözővizet egyenletesen szállítsa a növényhez, a párolgási veszteség csökkenjen a minimálisra, valamint egységes elosztást tudjon megvalósítani, hogy a növényfejlődés homogén legyen az öntözött területen.

Hazánkban a jelenleg hatályba lépő rendelkezések értelmében a gazdálkodók speciális támogatásokhoz juthatnak, ha úgynevezett öntözési közösségek

tagjai, melyet gazdasági társaságok, szövetkezetek vagy termelői csoportok alapíthatnak. A közösségek öntözési területeket, ún. öntözési körzeteket jelölhetnek ki és nyújthatnak be erre vonatkozó támogatási kérelmet. Az öntözési területek határvonalát többek között a talajadottságok, a hidrometeorológiai viszonyok, a terület természetvédelmi és vízvédelmi (belvízzel és árvízzel való veszélyeztetettség) korlátozása, aszály-érzékenysége és az öntözési technológiák alkalmazhatósága határozza meg (302/2020 (VI. 29) Korm. rendelet).

Az automata öntözéskezelés a vízellátás gépesítésének ütemezésén alapul, mely lehet naptár alapú, időzített kijuttatás-szabályzás vagy in situ mérésekből származó, azaz szenzoralapú. A körforgó rendszerű, mozgó berendezéseknél a földrajzi helymeghatározó rendszerek (GPS) által felmért pontos helyre van szükség (Wang et al. 2013). A talajszenzorok használata ma már széles körben elterjedt, elsősorban a talaj nedvességtartalmának, hőmérsékletének, és/vagy elektromos konduktivitás értékének meghatározásán alapszik. A precíziós növénytermesztés intenzív szántóföldi adatgyűjtést igényel, amely időben és térben változó. A vezeték nélküli kommunikációs szenzorhálózatok (WSN – Wireless Sensor Networks) új és gyors technológiát nyújtanak az adatgyűjtéshez, mely a táblán belüli légköri, növényi és talajparaméterek szenzorálásán alapszik. Ezek a mérések hozzájárulnak az öntözéses gazdálkodás automatizáltságának kiépítésében (Culibrk et al. 2020).

A szenzorálásra alapozott technológiák térnyerése miatt is egyre nagyobb az igény a változó dóziszú öntözővíz kijuttatásra (VRI – Variable Rate Irrigation) vagy a helyspecifikus öntözésre (SSI – Site-Specific Irrigation) a mezőgazdasági területeken belüli térbeli és időbeli változások kezelésénél. Az SSI célja, hogy olyan öntözővíz kijuttatást valósítsunk meg, mely a táblán belül a menedzsment zónákra változó dózis alapján szabályoz annak érdekében, hogy növeljük a hozamot, a termésminőséget, a vízhasználat hatékonyságát és a jövedelmet, csökkentve a környezeti káros hatásokat. Elméletileg bármilyen öntözési technológiánál megvalósítható, mely rendelkezik automata vezérlés-szabályzással, hogy időben és térben képes menedzselni a kijuttatást (Wang et al. 2013).

Magyarország szárazságra hajló, térben és időben rendkívül szélsőségesen változó éghajlati körülményei között nagy valószínűséggel számíthatunk a csapadék elmaradására, amely súlyos gondokat okoz a növénytermesztésben. Különösen az 1980-as évek második felétől az 1990-es évek derekáig tartó időszak szélsőségesen aszályos időjárása állította a figyelem középpontjába az

öntözést (*Toldiné et al.* 2003), de az idei aszályos év felülmúlta az eddigieket. A szárazság hatására bekövetkező aszály elhárítása, hatásainak mérséklése a termőhelyi viszonyokhoz leginkább alkalmazkodó termesztési technológiák kialakításával lehetséges. Elégtelen természetes vízellátottság esetén lényeges elem az öntözés, amely aszály esetén a növényállomány életébe történő leghatékonyabb beavatkozás.

Hazánkban jelenleg közel 500 ezer ha mezőgazdaságilag művelt területet lehetne öntözni. Az évjáratoktól függő termésingadozások elkerülése érdekében elengedhetetlenül szükséges, hogy a termelők nagyobb területen öntözzék a fontosabb szántóföldi kultúrákat, így a kukoricát is. *Szőke Molnár és Szalóki* (1984) szerint az öntözés az ország egyes részein mindinkább nélkülözhetetlen lesz az intenzív kukoricatermesztés biztonságához. Helyes öntözési előrejelzés csak a táblára érvényes csapadék- és talajvíz-viszonyok ismeretében adható (*Antal* 1968, *Posgay* 1968, 1983, *Balogh* 1978). Ha a lehullott csapadék és a talaj könnyen felvehető vízkészlete a növény igényét nem elégíti ki, akkor öntözéssel kell pótolni a hiányt (*Petrasovits* 1967, 1969). Az agrometeorológiai adatok alapján az évek 25%-ában volt csak elegendő csapadék az Alföldön, így a hatékony szántóföldi növénytermesztés a jövőben sem mondhat le a vízhiányt mérséklő öntözésről (*Antal et al.* 1972). Továbbra is foglalkozni kell az öntözéses gazdálkodás lehetőségeinek kutatásával, és ahol a megtérülés biztosított, ott szükségképpen növekedhet az öntözéses termesztés területe. A szántóföldön termesztett növények közül a jövőben a nagy értékű zöldségnövények mellett elsősorban a kukorica, a cukorrépa, a burgonya és a nagy termelési értéket jelentő vetőmagtermesztés öntözése várható nagyobb területen (*Cselótei és Harnos* 1996).

A vízellátottság szerepe

Európában - a mérsékelt égöv évi 400-600 mm-es csapadékelátottsága mellett - kialakult az úgynevezett „klasszikus” öntözési rendszer, amely elsősorban a tenyészidőszakban, a növények fenológiai fázisaihoz igazodik. *Bocz* (1978) mélyebb talajvízű területekre nemzetközileg is új, kinyújtott idejű öntözési rendet javasol alkalmazni. Ezekben a területeken a talajok felső 200 cm-es rétege főleg a légköri viszonyokra támaszkodik, a csapadékszegény években a talaj 50-160 cm-es középső rétege jelentősen kiszárad. Öntözéssel

a növények folyamatos vízellátását, illetve zavartalan fiziológiai működését biztosítjuk. A vízhiány következtében az élettani folyamatokban zavarok keletkeznek (Derco 1979).

A kukorica címerhányása alatti aszály hatására a termés csökkenés 40–50% is lehet (Claassen és Shaw 1970). A címerhányás és a virágzás alatt fellépő vízhiány a szemek számát csökkenti, a megporzás utáni stressz pedig a szemek tömegét, jelentős hozamcsökkenést okozva (Shaw 1977). A növény vízigénye azonban az érés előre haladásával jelentősen csökken. Ekkor a hőmérséklet szerepe nagyobb (Berényi 1958, Posza és Stollár 1983). Szász (1963) kísérletei bebizonyították, hogy hazánkban a legdöntőbb termésszabályozó tényező a vízellátás mértéke. Több szerző szerint az öntözés szükségességét a növény vízigénye, a gazdálkodás intenzitása és a talajnedvesség kedvező állapotának fenntartásához hiányzó vízmennyiség határozza meg (Oroszlány 1965, Szlovák 1972, Cselótei 1978, Várallyay 1985, Petrasovits 1988, Szalóki 1988). A talaj nedvességi állapota elsősorban a csapadék mennyiségétől, eloszlásától, másodsorban a talajadottságtól, a talajvíz elhelyezkedésétől függ (Szász 1973, Várallyay 1987).

A csapadékhiány, illetve a vízhiány meghatározására, becslésére több módszer ismert, pl. a Bocz-féle vízellátottsági hiány, a Petrasovits-féle agrohidropotenciál, a Harnos-féle aszályossági függvény, a hidrotermikus vagy ariditási tényezők, az ÖKI által kidolgozott potenciális vízhiányt meghatározó módszer (Szalóki 1988). A módszerek adott területen, az egyéb tényezők gondos figyelembevételével jól használhatók az öntözés tervezésében és az öntözés szükségességének meghatározásában.

Az öntözés és a tápanyagellátottság összefüggései

Az öntözés és a műtrágyázás kölcsönhatását számos hazai kutató vizsgálta. Hank és Frank (1951), Hank (1961), Frank (1969), Márton (1969), Bocz és Nagy (1981) öntözési és műtrágyázási kísérleteinek eredményei igazolták, hogy az öntözés növeli a műtrágyázás hatékonyságát. Láng (1971) szoros összefüggést talált a műtrágyahasznosulás és a növény vízellátása között. A csapadékmennyiség, illetve a talajban tárolt nedvességekészlet a trágyaszükségletet és a trágyahatást is módosítja. A trágyahatás az optimális vízellátáshoz közeledve nő, majd a káros víztöbblet beálltával csökken (Nagy 1994, Pummer et al. 1995, Szalókiné és

Szalóki 2002). A műtrágyák érvényesülése függ az agroökológiai feltételektől is (*Láng* 1981, *Ángyán* 1985, *Hepp* 1989). A tápanyagellátottság és az öntözés szoros összefüggésben van a talaj tápanyagszolgáltató, illetve -megtartó képességével. *Debreczeni* (1970) vizsgálatai szerint öntözéses körülmények között a kimosódás jelentős N-veszteséget okoz, azonban az azt követő intenzívebb nitrifikáció által a N-tartalom újra kiegyenlítődik, illetve javulhat. A növénytermesztési tényezők együttes értékelése során az egyes tényezők közül a műtrágyázás 48, az öntözés 28, a talajművelés 18 és a növényszám 6%-ban járult hozzá a kukorica termésmnövekedéséhez (*Nagy* 1995). Kutatási eredmények igazolják, hogy az említett termesztési tényezők hatásai nem függetlenek egymástól. Az öntözés × műtrágyázás és a növényszám × műtrágyázás kölcsönhatás pozitív, ezért a termesztési színvonal megválasztásakor vagy módosításakor mindhárom tényezőt egyszerre kell megváltoztatni. Bármilyen termesztési szintet kívánunk elérni, az adott szinten egyszerre kell biztosítani az egyes tényezők legkedvezőbb kölcsönhatását (*Nagy* 1997, *Ványiné és Nagy* 2012, *Széles et al.* 2019).

Az öntözés és a műtrágyázás nemcsak a termés mennyiségét, hanem a kémiai összetételt is megváltoztathatja, ezért az öntözés befolyásának sokoldalú vizsgálata fontos feladat (*Győri* 1977). *Amaducci et al.* (2000) négy rosnövény, köztük a kukorica esetén vizsgálták az öntözés hatását a termésre és a rostminőségre.

A kiváló hibridek termésstabilitása is csak megfelelő vízellátottsági küszöbértéktől érvényesül (*Szell* 1984). *Hardjoamidjojo et al.* (1982) Ohio-i kutatások alapján kimutatták, hogy a kukorica hibridek termése szoros összefüggésben van a fajta víz-stressz érzékenységével. Az így kifejlesztett modellel Iowa-ban és Indiában végzett - egymástól független - kísérletek eredményei megegyeztek. Két termőhelyen végzett szántóföldi kukorica kísérletek eredményei alapján *Nagy* (1985, 2003) több kukorica hibridet vizsgálva szintén szoros, megbízható kölcsönhatást állapított meg a tápanyagellátottság és az öntözés között. A műtrágyák hasznosulása egyes hibrideknél 10–25%-kal kedvezőbb volt. *Harmati* (1983) szerint a magyar fajtákat inkább a vízpótlás optimum ellátást közelítő hatása jellemzi, ugyanakkor a hazánkban termesztett egyes amerikai hibrideknél a jó tápanyagfelvevő és beépítő képesség jobb kihasználása eredményezhet jó öntözéses reakciót. Vizsgálatok alapján a középérésű hibridek hálálják meg jobban az öntözést.

Az öntözés és talajművelés összefüggései

Az öntözés módja, a talajtömörödés és a kukorica növekedése, fejlődése közötti összefüggés szignifikáns (*Ekwue és Stone 1995*). Kimutatták, hogy az öntözési időszakok hosszának csökkentésével és az alkalmanként kijuttatott vízádagok mérséklésével enyhíthető a talajtömörödés kedvezőtlen hatása. A helytelen talajhasználat okozta káros hatások a vetésváltásban, a szakszerű gyomirtásban, a talajművelésben rejlő előnyök kihasználásával, rövidebb tenyészidejű fajták termesztésével, a jól megválasztott állománysűrűséggel és mindenekelőtt öntözéssel jól ellensúlyozhatók (*Ruzsányi és Pető 1993*).

Moreno et al. (2003) a SIMWASER modellt használták fel az altalajtömörödés vízmérlegre és a növények termésére gyakorolt hatásának elemzésére. A szimulációs vizsgálatokkal is sikerült igazolni, hogy az öntözés növeli az altalajtömörödés kockázatát, ezáltal csökkentve a gyökerezési mélységet.

A talajművelés öntözött körülmények között jelentős mértékben befolyásolhatja a talaj porozitását és vízáteresztő képességét. *Cameira et al.* (2002) hagyományos és minimum művelésben, telítettség közeli vízvezető-képességnél végzett mérésekkel tisztázták egyrészt a porozitás öntözési időszak alatti dinamikáját, másrészt a vízvezető-képességben betöltött szerepét. Minimum művelés esetén a makropórusok részarányának időbeli változása nem jelentős, az összes porozitáson belül 85% a makropórusok részaránya. A kis makropórus térfogat ellenére mindkét művelés esetén a makropórusok járulnak hozzá leginkább a talaj vízvezető-képességének fenntartásához.

Roldán et al. (2005) vizsgálták különböző talajművelési eljárások (direktvetés és csökkentett menetszámú rendszerek) és az öntözés hatását a talaj fizikai és mikrobiológiai jellemzőire, illetve a kukorica termésére. Direktvetés esetén a felső 5 cm-es rétegben kedvező aggregátumstabilitást, nagyobb enzimaktivitást (dehidrogenáz, ureáz, foszfatáz) találtak az intenzívebben művelt területek talajához képest. Az öntözés nem befolyásolta a talaj szerkezeti stabilitását, és nem volt jelentős hatása a mikrobiális aktivitásra sem, szignifikánsan növekedett viszont a talaj szervesanyag-készlete.

Debreceni tartamkísérletekben az öntözés, a műtrágyázás (*Széles et al.* 2019) és a talajművelés szoros összefüggést mutatott a terméseredményekkel (*Nagy 1996*). A vizsgálatok feltárták, hogy az őszi szántás öntözés nélkül és öntözéssel termesztésben egyaránt a legkedvezőbb talajelőkészítési mód volt.

A kísérleti eredmények szerint a talajkímélő, tavaszi sekélyművelés a kukorica számára csernozjom talajon, öntözéssel termesztésben nem javasolható, mivel az öntözés terméshozványa szignifikánsan kisebb, hatékonysága rosszabb, mint őszi szántás esetén. Öntözéssel termesztésben a tavaszi szántás szintén nagy kockázattal jár, ezért a gyakorlatban ez a talajelőkészítési mód sem ajánlott. A növénytermesztést szolgáló agrotechnikai eljárások számottevően befolyásolják a talajok nedvességkészletét.

Az öntözés környezetre gyakorolt hatása

Az öntözés és a N-műtrágyázás környezetvédelmi vonatkozásának elemzése (Pang *et al.* 1997) a CERES-Maize modellel azt mutatják, hogy állandó, meghatározott vízáradat alkalmazása esetén nagy terméseket, jelentős nitrát-kimosódás veszélye nélkül lehetetlen elérni. A kiemelkedő hozamok azonban nem feltétlenül járnak együtt a talajvíz és a talaj mélyebb rétegeinek elszennyeződésével. A modell révén adott a lehetőség olyan öntözési és műtrágyázási eljárások alkalmazására, amelyekkel a két tényező közötti látszólagos ellentét feloldható. Debreceni tartamkísérletekben (Rátonyi *et al.* 2005, Ványiné *et al.* 2012) vizsgálták a műtrágyázás és az öntözés együttes hatását a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -tartalmára. Öntözött körülmények között a hektáronként kijuttatott 0, 30, illetve 120 kg N - a 300 cm-es szelvény egészét tekintve - egyenletesen oszlik el, számottevő felhalmozódás nem mutatható ki. A kontrollhoz viszonyítva egyik N-dózis sem növelte jelentősen a szelvény nitrát-N-tartalmát. A talaj 100–200 cm-es szelvényében talált nitrát-N mennyisége mind az öntözött, mind az öntözetlen változat esetében igen gyenge ellátottságot tükröz. A 0–200 cm-es talajréteg adataiból látható, hogy az öntözött és öntözetlen parcellák nitrát-N-tartalma között nincs szignifikáns különbség. Ezzel szemben a mélyebb, 200–300 cm-es szelvényben öntözés nélkül mindhárom műtrágyakezelésben felhalmozódást tapasztaltunk, az akkumuláció csúcsa azonban 300 cm-nél mélyebben található.

Rimski-Korsakov *et al.* (2003) síksági területen vizsgálták a műtrágyázás és az öntözés hatását a $\text{NO}_3\text{-kimosódásra}$. Az NLEAP szimulációs modell segítségével a talaj 150 cm-es szelvénye alatt becsülték a maradék és a lemosódott $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyiségét. A vizsgálatok szerint a pótlólagosan elvégzett öntözés a nitrát lemosódására nem volt hatással. A lemosódást a

termőhely csapadékviszonyai és a termesztett növények nagyobb mértékben befolyásolták, mint a talaj típusa.

Őszi búza/kukorica vetésváltáson alapuló növénytermesztési rendszerben *Liu et al.* (2003) elemezték a talaj N-dinamikáját és N-mérlegét. A mérlegszámítások alapján hagyományos trágyázási és öntözési gyakorlat esetén a legtöbb nitrát-N a talaj felső 300 cm-es szelvényében halmozódott fel. A számítások szerint az ajánlott műtrágyamennyiség 120 kg/ha-ban határozható meg. Ez az adag a $\text{NO}_3\text{-N}$ -felhalmozódást, illetve -leemosódást minimálisra csökkenti, miközben hosszabb távon is lehetővé teszi a nagy és gazdaságos termékek elérését. A nem megfelelő vízgazdálkodás és műtrágya használat hozzájárul a talajvíz nitrátszennyezéséhez. A probléma megoldásának egyik eszköze az alternatív gazdálkodási stratégiák mellett a szimulációs modellezés használata lehet. *Kengni et al.* (1994) vizsgálati eredményei szerint az öntözött területek vízgazdálkodása hatékony, vízmérlege pedig különösen kedvező, ha a vízfolyásból adódó veszteségek elhanyagolhatóak a kukorica tenyészidőszakában. A N-forgalmat is érintő vizsgálatok alapján a talaj mineralizációjával akár 150 kg/ha/év N is feltáródhat. A térségben hagyományosan alkalmazott 260 kg/ha N-adagot ezért a talajvizeket érő szennyezés kockázatának mérséklése érdekében mintegy 100 kg/ha-ral javasolják csökkenteni. *Cartagena et al.* (1995) a mezőgazdasági gyakorlatban általánosan használt különböző hatásmechanizmusú műtrágyaféleségek (ammónia, lassan oldódó N-műtrágyák), illetve az öntözővízzel együtt kijuttatott $\text{NO}_3\text{-N}$ hatását értékelték. A szerzők szoros összefüggést mutattak ki a N-mérlegből számított nitrogénvesztések és a tenyészidőszak alatt a környező vízbázisokba kerülő $\text{NO}_3\text{-N}$ mennyisége között.

Összegzés

A 2019. évi agrárgazdasági jelentések szerint a kukorica öntözött területe ~35 ezer hektár volt, melyből ~15 ezer ha területet a hibridkukorica jelentett (*NAIK Öntözésjelentés 2019*). Ahhoz, hogy a kukorica öntözött területét növeljük, és gazdaságos befektetést valósítsunk meg, innovatív műszaki megoldásokra van szükség. Az öntözést megvalósító technológiát, az öntözővíz kiadagolásának módját (esőztető linár, csévéldobos, körforgós, csepegtető) korszerű automata, programozható, digitális kommunikációs interfésszel célszerű ellátni. Ezek a real-time (valós idejű) rendszerek talaj- és/vagy a növény szenzorok alapján

képesek optimalizálni a kijuttatandó vízmennyiséget, valamint annak időpontját. Ezzel nemcsak a vízfelhasználást tudjuk csökkenteni, illetve környezetvédelmi szempontokat előtérbe helyezni, hanem a kukoricatermesztést rendszerszemlélet alapján tudjuk megvalósítani, monitorozni. Az eltérő érésidejű hibridek vízigényének a kielégítését, valamint a talaj vízbefogadó képességét és a vízháztartás optimalizálását kizárólag korszerű műszaki infrastruktúrával tudjuk megvalósítani. A vízpótlás fontos feladata a növényállomány fejlődését kielégítő mikroklima „előállítása” és szabályozása.

IRODALOM

- 302/2020 (VI. 29) Korm. rendelet: Az öntözéses gazdálkodásról szóló törvény végrehajtásáról. Magyar Közlöny. 155.
- Amaducci, S.–Amaducci, M. T.–Benati, R.–Venturi, G.: 2000. Crop yield and quality parameters of four annual fibre crops (hemp, kenaf, maize and sorghum) in the North of Italy. *Industrial Crops and Products*. 11. 2–3: 179–186.
- Ángyán J.: 1985. Agroökológiai hatások a gyakorlati kukoricatermesztésben. GATE KSZE.
- Antal E.: 1968. Az öntözés előrejelzése meteorológiai adatok alapján. Kandidátusi értekezés. Budapest.
- Antal E.–Posza I.–Tóth E.: 1972. A kukorica öntözésének agrometeorológiai adatai. *Időjárás*. 5–6.
- Balogh J.: 1978. Vízigény számítások az öntözőgazdálkodásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Berényi D.: 1958. Az állományklímát kialakító tényezők. MTA Agrártudományi Közlemények. 14: 155–193.
- Bocz E.: 1978. Az időnyen kívüli öntözés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Bocz E.–Nagy J.: 1981. A kukorica víz- és tápanyagellátásának optimalizálása és hatása a termés tömegére. *Növénytermelés*. 30. 6: 539–549.
- Cameira, M. R.–Fernando, R. M.–Pereira, L. S.: 2002. Soil macropore dynamics affected by tillage and irrigation for a silty loam alluvial soil in southern Portugal. *Soil and Tillage Research*. 70. 2: 131–140.
- Cartagena, M. C.–Vallejo, A.–Diez, J. A.–Bustos, A.–Caballero, R.–Roman, R.: 1995. Effect of the type of fertilizer and source of irrigation water on N use in a maize crop. *Field Crops Research*. 44. 1: 33–39.
- Claassen, M. M.–Shaw, R. H.: 1970. Water deficit effects on corn. II. Grain components. *Agronomy Journal*. 62: 652–655.

- Culibrk, D.–Vukobratovic, D.–Minic, V.–Fernandez, M. A.–Osuna, J. A.–Crnojevic, V.:* 2020. Sensing technologies for precision irrigation. Springer.
- Cselőtei L.:* 1978. Új irányok és feladatok a növények vízellátásában. MTA Agrártudományi Közlemények. 37: 45–47.
- Cselőtei L.–Harnos Zs.:* 1996. Éghajlat, Időjárás, aszály. II. Az aszály enyhítésének lehetőségei. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Debreczeni B.:* 1970. Az öntözött talajok tápanyagforgalma és a műtrágyázás. MTA Agrártudományi Közlemények. 29: 117–127.
- Dercó, M.:* 1979. Kukorica öntözött körülmények között. Praha. 27. 7: 295–296.
- Ekwue, E. I.–Stone, R. J.:* 1995. Irrigation scheduling for sweet maize relative to soil compaction conditions. Journal of Agricultural Engineering Research. 62. 2: 85–94.
- Frank O.:* 1969. A talaj tápanyagellátásának hatása a vízhasznosulásra. MTA Agrártudományi Közlemények. 28: 109–122.
- Győri Z.:* 1977. A borsó, lucerna, kukorica nitrogén és ásványi anyag tartalmának változása különböző tápanyagellátottsági szinten öntözetlen és öntözött viszonyok mellett. Egyetemi doktori (PhD) értekezés. Debrecen.
- Hank O.:* 1961. Adatok az őszi búza trágyázásához és öntözéséhez. [In: Bajai J. (szerk.) Búzatermesztési kísérletek 1952–1959.] Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Hank O.–Frank M.:* 1951. Összefüggés a talaj tápanyagellátás és a vízfogyasztás között egyes gazdasági növényeknél. ÖKI Évkönyv. Szarvas.
- Hardjoamidjovov, S.–Skaggs, R. W.–Schwab, G. O.:* 1982. Corn yield response to excessive soil water conditions. Transactions of the ASAE. St. Joseph. Michigan. 25. 4: 922–927.
- Harmati I.:* 1983. Az öntözés hatását befolyásoló tényezők a kukoricatermesztésben. [In: Vízgazdálkodási és termelési potenciál a mezőgazdaságban.] Nemzetközi Tudományos Konferencia. Szarvas. 116–126.
- Hepp F.:* 1989. Az aszály mérséklésének lehetőségei a szántóföldi növénytermesztésben. Magyar Tudományos Akadémia Mezőgazdasági Kutatóintézete. Martonvásár.
- Kengni, L.–Vachaud, G.–Thony, J. L.–Laty, R.–Garino, B.–Casabianca, H.–Jame, H. P.–Viscogliosi, R.:* 1994. Field measurements of water and nitrogen losses under irrigated maize. Journal of Hydrology. 162. 1–2: 23–46.
- Láng G.:* 1971. A búza intenzív termesztése. Magyar Mezőgazdaság. 26: 40.
- Láng I.:* 1981. Beszámoló az agrárökológiai potenciál országos felmérésének eredményeiről. MTA Agrártudományi Közlemények. Budapest. 40: 29–98.
- Liu, X. J., Ju, X. T., Zhang, F. S., Pan, J. R., & Christie, P.:* 2003. Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the North China Plain. Field Crops Research. 83. 2: 111–124.
- Márton Á.:* 1969. Különböző nitrogén műtrágyák hatásvizsgálata a Nyírség homoktalajain. Kandidátusi értekezés.

- Moreno, F.-Murer, E. J.-Stenitzer, E.-Fernández, J. E.-Girón, I. F.*: 2003. Simulation of the impact of subsoil compaction on soil water balance and crop yield of irrigated maize on a loamy sand soil in SW Spain. *Soil and Tillage Research*. 73. 1-2: 31-41.
- Nagy J.*: 1985. Az öntözés hatása néhány jelentős kukoricahibrid termésére. *Növénytermelés*. 34. 1: 33-38.
- Nagy, J.*: 1994. The effect of fertilization and irrigation on the yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids with various genotypes. [In: Ittersum et al. (eds.) Third Congress of the European Society for Agronomy.] Padova. 421-440.
- Nagy J.*: 1995. A műtrágyázás hatásának értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő évjáratokban. *Növénytermelés*. 44. 5-6: 493-506.
- Nagy J.*: 1996. Az öntözés és talajművelés kölcsönhatása a kukoricatermesztésben. *Növénytermelés*. 45. 4: 389-398.
- Nagy J.*: 1997. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéses termesztésben. *Agrokémia és Talajtan*. 46. 1-4: 275-288.
- Nagy, J.*: 2003. Effect of irrigation on maize yield (*Zea mays* L.). University of Debrecen. *Journal of Agricultural Sciences*. 11: 30-35.
- NAIK Agrárgazdasági Kutatóintézet*: 2019. Öntözésjelentés 2019. év. XXIII. 1.
- Oroszlány I.*: 1965. *Vízgazdálkodás a mezőgazdaságban*. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Pang, X. P.-Letey, J.-Wu, L.*: 1997. Yield and nitrogen uptake prediction by Ceres-Maize model under Semiarid conditions. *Soil Science Society of America Journal*. 61. 1: 254-256.
- Petrasovits I.*: 1967. Az öntözővízigény megállapításainak problémái. *Hidrológiai Közlemények*. 47. 10: 456-461.
- Petrasovits I.*: 1969. Új gyakorlati módszer az öntözött szántóföldi növényállományok evapotranszpirációjának számításához. *Öntözéses gazdálkodás*. 7. 1: 3-17.
- Petrasovits I.*: 1988. *Az agrohidrológia főbb kérdései*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Posgay E.*: 1968. Az öntözés időpontjának és normájának meghatározása. *Öntözéses Gazdálkodás*. 2: 27-38.
- Posgay E.*: 1983. A vízellátás és a termés közötti kapcsolat az öntözéses növénytermesztésben. V. A vízhiány és az öntözés jelzése szimulátorral. *Növénytermelés*. 32. 4: 339-346.
- Posza I.-Stollár A.*: 1983. A tényleges párolgáshoz használt növénykonstansok értékei több évi mérés alapján. *Időjárás*. 88: 170-177.
- Pummer L.-Krisztián J.-Holló S.-Perényi M.*: 1995. A műtrágya - csapadék - termés kapcsolata kukorica tartamkísérlet mérési eredményei alapján. *Növénytermelés*. 44. 5-6: 535-545.
- Rátonyi, T.-Huzsvai, L.-Nagy, J.-Megyes, A.*: 2005. Evaluation of soil tillage systems in maize production. *Acta Agronomica Hungarica*. 53. 1: 53-57.

- Rimski-Korsakov, H.–Rubio, G.–Lavado, R. S.*: 2003. Potential nitrate losses under different agricultural practices in the pampas region. Argentina, Agricultural Water Management. 65. 2. 1: 3–94.
- Roldán, A.–Salinas, J. R.–García, Alguacil, M. M.–Caravaca, F.*: 2005. Changes in soil enzyme activity, fertility, aggregation and C sequestration mediated by conservation tillage practices and water regime in a maize field. Applied Soil Ecology. 30. 1: 11–20.
- Ruzsányi L.–Pető K.*: 1993. A vetésváltás és a trágyázás hatása a talajnedvességre. Növénytermelés. 42. 1: 85–94.
- Shaw, R. H.*: 1977. Climatic requirement. [In: Sprague, G. F. (ed.) Corn and corn improvement.] Amer. Soc. Agron. Inc. Publisher. Madison. Wisc. 774.
- Szalóki S.*: 1988. Az öntözéses gazdálkodás újabb kutatási eredményei. Tudományok. ÖKI. Szarvas.
- Szalókiné Z. I.–Szalóki S.*: 2002. A víz- és a tápanyagellátás hatása a kukorica termésösszetevőinek mennyiségére és NPK-tartalmára. Növénytermelés. 51. 5–6: 543–557.
- Szász G.*: 1963. Különböző termesztett növényeink állományainak evapotranszpirációs vízvesztése. Debreceni Agrártudományi Főiskola Tudományos Közleményei. Debrecen. 157–174.
- Szász G.*: 1973. A termesztett növények vízigényének és az öntözés gyakoriságának meteorológiai vizsgálata. Növénytermelés. 22: 245–258.
- Széles, A.–Nagy, J.–Rátonyi, T.–Harsányi, E.*: 2019. Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. Maydica. 64. 2: 1–14.
- Szél E.*: 1984. Az aszály hatása a kukoricára. Magyar Mezőgazdaság. 39. 15: 9.
- Szlovák S.*: 1972. A különböző korú kukoricánövények transzspirációs intenzitásának napi menete. Öntözéses Gazdálkodás. Szarvas. 2: 43–52.
- Szöke Molnár L.–Szalóki S.*: 1984. A vízhiány megítélése, számszerűsítése és hatása a hozamra. A melioráció, öntözés és tápanyag-gazdálkodás. 2: 26–32.
- Toldiné T. É.–Pintér Z.–Szel S.*: 2003. A kukoricánemesítés feladatai napjaink kukoricatermesztésében. Növényvédelmi tanácsok. Agroinform Kiadó. Budapest. 12. 6: 28–29.
- Ványiné Széles, A.–Nagy, J.*: 2012. Effect of nutrition and water supply on the yield and grain protein content of maize hybrids. Australian Journal of Crop Science. 6. 3: 381–290.
- Ványiné Széles, A.–Megyes, A.–Nagy, J.*: 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. Agricultural Water Management. 107: 133–144.
- Várallyay Gy.*: 1985. Magyarország talajainak vízháztartási és anyagforgalmi típusai. Agrokémia és Talajtan. 34: 267–298.
- Várallyay Gy.*: 1987. A talaj vízgazdálkodása. Akadémiai doktori értekezés. Budapest.

Wang, D.-O'Shaughnessy, S. A.-King, B.: 2013. Automated irrigation management with soil and canopy system. [In: Zhang, Q.-Pierce, F. J. (eds.) *Agricultural Automation.*] Fundamentals and practices. CRC Press.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

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

Dr. Nagy János
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

A CERES-Maize modell terméshozam szimulációja a látóképi kísérlet adatbázisával

¹NYÉKI ANIKÓ - ²ZELENÁK ANNABELLA - ²SZABÓ ATALA - ²NAGY JÁNOS

¹Széchenyi István Egyetem MÉK

Biológiai Rendszerek és Élelmiszeripari Műszaki Tanszék, Mosonmagyaróvár

²Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A precíziós növénytermesztés pontos terméshozam-előrejelzést és nitrogéngazdálkodást igényel. Ennek megfelelően, vizsgálatunk célja az volt, hogy a CERES-Maize modell hogyan szimulálja a különböző N-kezelések hatásait a látóképi szántóföldi kísérletekben. Felmértük a különböző tápanyag-gazdálkodási szintek: 0, 30, 60, 90, 120 és 150 kg/ha N-trágya kijuttatások mellett annak hatásait. A megfigyelt termésmennyiség 5016 és 14 920 kg/ha között mozgott a 2016-2020-as vegetációs időszakban. A kukoricatermés szimulált adatainak tartománya 6671 és 13 136 kg/ha között volt. A legmagasabb terméshozamot a 150 kg/ha dózis mellett érték el. A DSSAT kukoricamodell több esetben is pontosan megjósolta a terméshozamokat, de érzékeny volt a szezonális hatásokra. A kapott eredmények – illetve a varianciaelemzés – alapján a nitrogéndózisok szignifikáns különbséget okoztak a termésadatokban.

Kulcsszavak: döntéstámogatás, hozam-előrejelzés, precíziós növénytermesztés, big data, kukorica

Simulation of the CERES-Maize model yields using the experiment database of the Látókép Experiment Site

¹A. NYÉKI – ²A. ZELENÁK – ²A. SZABÓ – ²J. NAGY

¹Széchenyi István University Faculty of Agricultural and Food Sciences,
Department of Biosystems and Food Engineering, Mosonmagyaróvár

²University of Debrecen Faculty of Agricultural and Food Sciences and
Environmental Engineering,

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

Precision farming requires accurate yield forecasting and nitrogen management. Accordingly, the aim of our study was to investigate how the CERES-Maize model simulates the effects of different N treatments in the field experiments at Látókép. We evaluated the effects of different nutrient management levels: 0, 30, 60, 90, 120 and 150 kg ha⁻¹ N fertiliser applications. The observed yield ranged from 5016 to 14 920 kg ha⁻¹ during the vegetation period 2016–2020. Simulated maize yield data ranged from 6671 to 13 136 kg ha⁻¹. The highest yield was obtained at a dose of 150 kg ha⁻¹. The DSSAT maize model accurately predicted yields in several cases, but was sensitive to seasonal effects. The results, and the performed ANOVA showed that nitrogen doses caused significant differences in yield data.

Keywords: decision support, yield forecasting, precision farming, big data, maize

Bevezetés

A növénysszimulációs modellek képesek a növekedés, növényi fejlődés, hozam és egyéb változók becslésére a talaj-növény-légkör dinamikáját figyelembe véve. A CERES-Maize modell többek között alkalmas a növényi produkció (biomassza és szemtermés), levélfelület, gyökerezési mélység, vízmozgás talajrétegenként, valamint az N és P mozgását leképezni a vegetációs fázisban.

Több tanulmányban fejlesztették, illetve validálták a modellt precíziós körülményeket figyelembe véve. A Debreceni Egyetem látóképi tartamkísérlet adatbázisát alapul véve elemezték a kukorica hibridek műtrágyareakcióit, öntözési, talajművelési, növényszám hatásait elemezték különböző évjárat-hatásokat figyelembe véve (Huzsvai és Nagy 1994, Kovács és Németh 1995ab, Kovács és Nagy 1997). Kispárcellás kísérlet elemzésére alkalmazta a modellt Li et al. (2015), valamint Megyes (2001) hazai tartamkísérleteket felhasználva és megállapították, hogy meteorológiai anomáliák esetén a modell a biomassza-tömeget és a szemtermést is félrebecsülheti.

Thorp et al. (2008) üzemi körülmények között alkalmazta a CERES-Maize modellt beépítve az Apollo (Graeff et al. 2012) döntéstámogató rendszerébe. Egy 20,25 ha-os kísérleti táblát 20 (Thorp et al. 2007), majd 100 management zónára osztott, ez alapján validálta az Apollo vázrendszerében a jelenlegi és a jövőbeni kukoricahozamot. Vizsgálatai alapján megállapította, hogy a későbbiekben nagyobb kezelési egységek is éppoly hatékonyak lehetnek, mivel a hozamok kisebb térbeli eloszlást mutatnak. Paz et al. (1999) az optimális N trágya kijuttatását (60–220 kg/ha között) vizsgálta egy 16 ha-os tábla ~500 m²-es egységein. A modell +/- 14%-os eltéréssel becsült táblaszinten három éven át, a kezelési egységek tekintetében azonban a legkiemelkedőbb eltérés 6 t volt. Nyéki et al. (2013, 2016, 2017) szerint a modell táblaszinten átlagolva jó szimulációkat végzett, kezelési egységre bontva a kukorica hozam predikciókat szisztematikusan felül- és alulbecsülte. A vizsgálatba vont menedzsment zónákat a növényvegetációs idejére vetített pozitív és negatív vízmérlege befolyásolta. A modell pontatlanságának okait a talaj nedvességtartalma, valamint a talajtextúra (fizikai féleség) eltéréseinek érzékenységre vezette vissza a szerző. Zhu et al. (2011) DSSAT és APSIM modell szériák vizsgálata után hangsúlyozza, hogy a precíziós növénytermesztési technológiák adaptálása nélkül, illetve ezen adatok hiányában a növényfiziológiai és agrár-ökoszisztémára alkalmazott modellek fejlesztése, egyáltalán az újabb modell-generációk használata, sikertelenné válik. A CERES-Maize modell érzékenysége kiterjed a szélsőséges meteorológiai évjáratokra, vegetációs periódusokra. Wu et al. (1989) szerint a modell, esős és szárazabb években túl-, illetve alábecsüli a szemtermést. Extrém csapadékos évben (Quiring és Legates 2008, Liu et al. 2011a) és öntözött körülmények között (Carberry et al. 1989) szisztematikusan felülbecsül. Li et al. (2015) vizsgálatában két évben nagymértékű eltérést észlelt,

ezek kiemelkedően száraz évjáratok voltak. Megegyező tapasztalatokról számolt be *Liu et al.* (2011a), miszerint alacsony csapadékú évben a modell a kukorica (CERES-Maize) hozamot csaknem 30%-kal alábecsülte, ezért *Liu et al.* (2011b) az egyes évjáratokban korrekciós függvényt alkalmazott.

Kovács et al. (1995) szerint a modell hajlamos szárazabb, aszályosabb körülmények között alulbecsülni a termést. Másrészt a csapadékmennyiség megadásának pontossága járul hozzá a korrekt eredményekhez, mivel ennek térbeli eloszlása egyenlőtlen, tehát a meteorológiai adatoknak a modellezett terület közvetlen közeléből kell származniuk. *Quiring* és *Legates* (2008) megállapításai szerint a kukorica modell részben érzékeny a sortávolságra, a tőszámra, a vetési mélységre, a vetés és a betakarítás időpontjára, a hibridre, a talajtípusra és a talaj nedvességére, valamint a hőmérsékletre és a globálsugárzás mértékére. Külön felhívják a figyelmet a talajtípus és a csapadék összefüggésének hatására, valamint annak időpontjára, mely az extrém érzékenységgel bírhat a hozam alakulására.

Vizsgálatunk célja a látóképi kísérlet adatbázisának felhasználása, ennek megfelelően kukorica hozamelőrejelzés, mely alapot nyújt a precíziós növénytermesztés pontosabb agrotechnikájához és a nitrogéngazdálkodás optimalizációjához. Ennek függvényében az alábbi elemzésünkben céljaink a következők voltak:

- a CERES-Maize modell terméshozam-előrejelző képességének vizsgálata hosszú távú kísérletekben;
- a modell segítségével felmérni a különböző tápanyag-gazdálkodási módok (különböző tápanyagtartalmak) hatásait, nitrogéntartalom 0, 30, 60, 90, 120 és 150 kg/ha hatóanyagok között.

Anyag és módszer

A vizsgálatokhoz a DSSAT szoftver v4.7 verzióját használtuk fel, ennek keretein belül a CERES-Maize determinisztikus modellt használtuk minden futtatásnál különböző tápanyag-gazdálkodási módok (különböző tápanyagtartalmak) hatásait, ahol nitrogéntartalom 0, 30, 60, 90, 120 és 150 kg/ha hatóanyagok között változott (*1. táblázat*).

1. táblázat. A különböző kezelések műtrágya mennyisége kísérletünkben (kg)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Sum
0	-	-	-	-
1	30	23	27	80
2	60	46	54	160
3	90	69	81	240
4	120	92	108	320
5	150	115	135	400

Table 1. The different treatments of fertiliser amount in our experiment (kg)

A kísérlet talajtípusát az USDA szerinti frakció (szemcseeloszlás, %) beosztás szerint határoztuk meg. Fizikai féleségét tekintve a talaj iszapos vályog kategória. A talajminták 140 cm mélységig álltak rendelkezésünkre (2. táblázat). A modell 5–30 cm talajrétegenként teszi lehetővé az adatok bevételét, de maximalizálja azok számát. Az adatok feldolgozását jelentette továbbá, hogy például a humusztartalmat szerves szén kategóriába soroltuk, számoltuk át a modell pontossága miatt, a szerves szénből pedig kiszámoltuk a talaj össznitrogén-tartalmát (%). A számolt és mintából vett eredmény $R^2=0,93$ pontossággal egyezett meg. Azokat a változókat, melyeket mérési adatok hiánya miatt nem tudunk a DE.SOL adaptálni a modell a meglévő adatokból kalkulálta (pl. root growth factor, upper and lower limit of saturation, saturated water content stb.), kalkuláltuk a szimulációk eredményessége érdekében.

A szántóföldi kísérletben a 2018-as vegetációs időszakban a Hanway-skála alapján jellemeztük, mértük a hibrideket, és az értékeket a genetikai paraméterek meghatározásához használtuk. Ezek a fenológiai paraméterek magukban foglalják a termesztési időt a kelésétől a juvenilis fázis végéig (P1), a fotoperiódus-érzékenységet (P2), a fenofázist a fiziológiai érésig a 8 °C-os bázishőmérséklet felett (P5), a potenciális magszámot (G2), a potenciális szemtöltési arányt (G3) és az egymást követő levélcúcsok megjelenése közötti fok-napokban kifejezett intervallumot (PHINT) (3. táblázat). Ebben a vizsgálatban a Sushi (FAO 340) hibridet választottuk.

2. táblázat. A talaj fizikai tulajdonságai a kísérleti területen (frakció %)

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

Table 2. Physical properties of the soil in the experimental area (fraction %). (1) Depth (cm), (2) Sand, (3) Silt, (4) Clay

3. táblázat. A Sushi hibrid genetikai paramétereit

Hibrid (1)	P1	P2	P5	G2	G3	PHINT
Sushi	118	0,500	926	830	7,1	42

Table 3. Genetic parameters of the hybrid Sushi. (1) Hybrid

A szimulációkhoz a kezdeti feltételeket (agrotechnológiai jellemzők) minden egyes évre és helyszínre vonatkozóan megadtuk. Az evapotranspiráció szimulálásához a Priestly-Taylor (Ritchie-módszer), a beszivárgás szimulálásához pedig a Soil Conservation Service módszerét választottuk. A talaj párolgására a Ritchie vízmérleg modellét használtuk fel. A modell napi léptékben számol és ad eredményeket, ennek megfelelően az időjárásra vonatkozó adatigénye is napi részletességű. Azonban minimum adatnak a következő paraméterek tekinthetők: minimum és maximum hőmérséklet, csapadékmennyiség és globálsugárzás értéke, melyeket a Debrecen-Látóképen elhelyezett meteorológiai állomásból adaptáltunk. A szimulációk értékeléséhez az egyes években mért csapadék mennyiségét a 4. táblázat szemlélteti.

4. táblázat. *Havi csapadékösszeg (mm) a kukorica vegetációs időszakában Debrecen-Látóképen (2016–2020)*

Hónapok (1)	2016	2017	2018	2019	2020
Április (2)	16 (-37)	51 (-2)	37 (-16)	33 (-20)	17 (-36)
Május (3)	68 (+4)	27 (-37)	57 (-7)	76 (+12)	45 (-19)
Június (4)	146 (+80)	67 (+1)	64 (-2)	32 (-34)	119 (+53)
Július (5)	87 (+21)	73 (+7)	55 (-11)	99 (+33)	188 (+122)
Augusztus (6)	72 (+23)	61 (+12)	92 (+43)	15 (-34)	70 (+21)
Szeptember (7)	64 (+16)	76 (+28)	14 (-34)	35 (-13)	44 (+4)
Október (8)	98 (+60)	38 (0)	9 (-29)	22 (-16)	79 (+41)
Sum (IV–IX.) (9)	453 (+107)	354 (+8)	318 (-28)	290 (-56)	483 (+137)

Table 4. Monthly rainfall (mm) in the maize growing season in Debrecen-Látókép (2016–2020). (1) Months, (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) September, (8) October, (9) Sum of months

Eredmények

A CERES-Maize modellt a Látóképen az adott vegetációs időszakokban (2016–2020) végzett N-trágyázási kísérletek elemzésére használtuk. Az általunk vizsgált Sushi (FAO 340) hibridet előzetes szántóföldi és terméshenológiai mérések alapján kalibráltuk. A hosszú távú kísérleti szántóföldi mérési eredményekből és az adott évre vonatkozó agrotechnikai elemeknek megfelelően határoztuk meg a szimulációs beállításokat. A CERES-Maize modell performanciáját a szimulált és a megfigyelt szemtermés összehasonlításával értékeltük különböző N-kezelések mellett (*1. ábra*). A megfigyelt terméshozam 5016 és 14 920 kg/ha között mozgott a 2016–2020-as vegetációs időszakban. Az esős években magasabb terméshozamokat realizáltunk (150 kg/ha N-dózis mellett): 13 858 kg/ha (2016), 13 400 kg/ha (2020), kivéve az átlagos csapadéku 2018-as évet (14 920 kg/ha). Az értékelés célja annak vizsgálata volt, hogy a CERES-Maize modell hogyan szimulálja a különböző N-kezelések hatását a megfigyelt termésadatokra tartamkísérletben. A Sushi hibrid a maximális terméshozamot mindkét évben (2016 és 2017) 150 kg N mellett érte el.

1. ábra. A szimulált és a mért kukoricatermés a vizsgált időszakban (2016–2020)

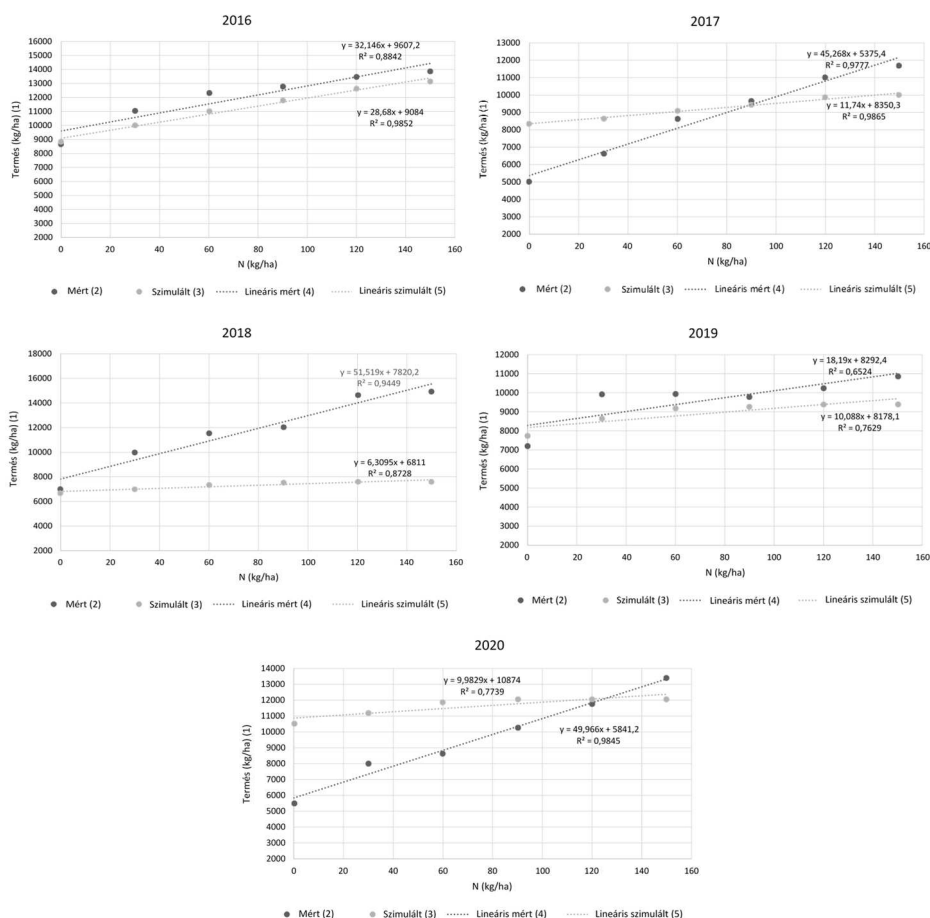


Figure 1. Simulated and measured maize yields for the period under study (2016–2020). (1) Yield (kg ha^{-1}), (2) Measured, (3) Simulated, (4) Linear measured, (5) Linear simulated

A kapott eredmények alapján megállapítható, hogy a modell a legpontosabban becsülte meg a tesztnövényünk hozamát a vizsgált kísérleti években, 2016-ban és 2019-ben. Az agrotechnikai beállításokat az adott évek megfelelően alkalmaztuk, és a talajvizsgálati eredmények is csak 2020-ban változtak az új mintavételi vizsgálatok miatt. Egyéb technológiai és beállítási

változtatásokat nem hajtottunk végre, a szimulációk közötti különbség kizárólag a termésév hatására vezethető vissza. A mért és becsült terméshozamok összehasonlítását a szimulációs modellel az *1. ábra* szemlélteti. Az előre jelzett és a mért termésadatok közötti jó illeszkedés azt mutatta, hogy a modell alkalmas lehet a termés teljesítményének szimulálására a különböző N-kezelések esetében. A trágyázás (N) jelentősen befolyásolja a kukorica szemtermését. A Sushi hibrid terméshozama a vizsgált években a dózis növelésével összhangban nőtt. A 2016-os évben a 0 dózis kivételével a modell minden esetben alulbecsülte a terméshozamot. A kedvező csapadékos évnek köszönhetően a magas terméshozamok a szimulációs eredményekben is tükröződnek. A mért termésadatokat $R^2=0,88$ (R^2 =determinációs együttható), a szimulált eredményeket $R^2=0,98$ értékkel határozta meg. A nitrogénadag egységnyi növekedése a mért adatok esetében 32,14 kg/ha terméshozamot eredményezett, míg a szimulált adatok esetében 28,68 kg/ha volt. 2017-ben a mért eredmények $R^2=0,97$, a szimulált eredmények $R^2=0,98$ értéket mutattak. A nitrogéndózis növelése a mért adatok esetében 45,26 kg/ha-ral növeli a termést, míg a szimulált adatok esetében 11,74 kg/ha volt. 2018-ban a szimulált eredmények ($R^2=0,87$) a műtrágyadózis növekedésével párhuzamosan követték a terméshozam növekedését. Az értékek azonban messze elmaradtak a mért eredményektől ($R^2=0,94$). Az egységnyi nitrogénadag növelése a mért adatok esetében 51,51 kg/ha terméshozamot eredményezett, míg a szimulált adatok esetében ez az érték 6,30 kg/ha volt. A 2019-es kedvezőtlen időjárású évben a mért terméseredmények is elmaradtak az átlagtól, a legmagasabb termés 10 t/ha volt. Az egységnyi nitrogénadag növelése a mért adatok esetében 18,19 kg/ha hozamnövekedést eredményezett, míg a szimulált adatok esetében 10,08 kg/ha volt. Ezt a tendenciát követte a szimulációs hozam is, de a N0 dózis kivételével minden esetben alulbecsülte a hozamokat. A mért eredményeket $R^2=0,65$, a becsült hozamokat $R^2=0,76$ értékkel határozták meg. Az egységnyi nitrogéndózis növelése a mért adatok esetében 18,19 kg/ha terméshozamot növel, míg a szimulált adatok esetében 10,08 kg/ha-t. A 2020-as évben a mért termésértékek $R^2=0,98$, a szimuláltak $R^2=0,77$. Az egységnyi nitrogénadag növelése a mért adatok esetében 49,96 kg/ha hozamnövekedést eredményez, míg a szimulált adatok esetében ez az érték 9,98 kg/ha volt. A 2020-as évben a modell pontosan megbecsülte az N120

dózis hozamát, de a többi dózis vizsgálata eltérő eredményeket mutatott, fenntartva a növekvő tendenciát.

Következtetések

Az agronómiai elvárásoknak való megfelelés, a „hagyományos” döntéstámogató modellek inputadatainak korlátozottsága, valamint a növénytermesztésben keletkező nagy adatmennyiség a döntéstámogatás innovációját is fokozza. *Nyéki et al.* (2013, 2017) vizsgálataiban arra a következtetésre jutott, hogy a növény növekedés modellek bemeneti adatainak növekedése csak korlátozott mértékben növeli a termésbecslések pontosságát. Következésképpen meg kell változtatni a tudományos módszereket a döntéstámogatás tekintetében, melynek alapja a nagy adatbázisok (big data) felhasználása a modellezés során.

A precíziós gazdálkodás követelményeinek megfelelő terméshozam előrejelzéséhez a következőkre kell ügyelni az optimális körülmények között végzett kísérletekből származó adatok gyűjtésére. Ezen túlmenően, a kalibráláshoz szükséges adatokat olyan helyről kell gyűjteni, ahol a talaj részletes adatok állnak rendelkezésre. A fajták (hibridek) elemzése segít a gazdálkodóknak abban, hogy pontosabb döntéstámogató eszközökre alapozzanak. A precíziós gazdálkodás, amely figyelembe veszi a nagyon finom térbeli felbontást, pontos, megbízható terméshozam-modelleket igényel. Ezek validálása nélkül a döntéstámogató rendszereket a mi termesztési körülményeinkre, nem leszünk képesek megfelelő agronómiai döntéseket hozni, nyújtani. A közelmúltban a távérzékelési technikák, különböző szenzorálási megoldások elterjedése lehetővé tette, hogy a növények vízállapotát, klorofilltartalmát stb., helyspecifikus vagy a különböző kezelésekre vonatkozó reakcióját felmérjük a fenológiai állapotuknak megfelelően. További vizsgálataink és szántóföldi kísérletek célja, hogy a különböző fenofázisok helyspecifikus méréseit elemezzük a modell eredményeivel.

Összegzés

A modell tesztelésével a kukorica terméshozamát elemeztük:

- különböző kukoricahibridek növekedését és terméshozamát a környezeti feltételek összefüggésében;

- meghatároztuk a modellfuttatás kiindulási paramétereit (talajkémiai változók, talaj fizikai tulajdonságok, talajmechanikai szerkezet, talajnedvesség stb.);
- az egyes kukoricahibridek fenológiai és növekedési jellemzőit.

Összefoglalva, a szimulált kukoricatermés nem függött össze helyspecifikusan a kísérleti parcellákból származó kukoricatermésekkel. Az esős évben (2016) a hibrid Sushi 13 858 kg/ha hozamot ért el, míg az elért hozam még az aszályos évben (2019) is három tonnával kevesebb volt (10 860 kg/ha). A modell szimulált eredményei követték a termés hozamok növekedését a növekvő N-dózis növekedésével. Az egyes kezelési szinteken a modell pontosan becsülte meg a hozamokat a Sushi hibrid esetében, de több esetben a modell alul- vagy túlbecsülte a termésmennyiséget. Az elvégzett varianciaanalízis alapján jelentős hatás volt megfigyelhető a termesztés évei (2016–2020), tehát az évjáráthatás és a nitrogéndózisok között. A Tukey-elemzés szintén szignifikáns különbséget mutatott az egyes évek között. Annak ellenére, hogy a DSSAT-CERES kukoricára vonatkozó adatai bizonytalanságokat mutattak a különböző évek termés hozamainak becslésével kapcsolatban, a termés hozam növekedése a nitrogéntartalmú dózistól való növekedését pontosan modelleztük.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Graeff, S.–Link, J.–Binder, J.–Claupein, W.:* 2012. Crop models as decision support systems in crop production. [In: Sharma, P. (ed.) Crop production technologies.] InTech. University of Hohenheim.
- Huzsvai L.–Nagy J.:* 1994. Kukorica (*Zea mays* L.) tőszám és termésösszefüggés elemzése különböző biológiai érvényességgel rendelkező modellekkel. Növénytermelés. 43. 6: 533–544.
- Kovács G. J.–Németh T.:* 1995a. Nitrogénforgalom modellezése tartamkísérletek adatbázisán. Agrokémia és Talajtan. 44. 3–4: 545–551.

- Kovács G. J.-Németh T.*: 1995b. Termés és nitrát-felhalmozódás modellezése tartamkísérletekben. *Agrokémia és Talajtan*. 44. 1-2: 89-98.
- Kovács, G. J.-Németh, T.-Ritchie, J. T.*: 1995. Testing simulation models for the assessment of crop production and nitrate leaching in Hungary. *Agricultural Systems*. 49: 385-397.
- Kovács, G. J.-Nagy, J.*: 1997. Test runs CERES-Maize for yield and water use estimations. [In: Nagy, J. (ed.) *Soil, Plant and Environment Relationships*.] *Proceedings of the First and Second International Seminars on Soil and Plant Science*. 120-136.
- Li, Z. T.-Yang, J. Y.-Drury, C. F.-Hoogenboom, G.*: 2015. Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. *Agr. Syst*. 135: 90-104.
- Liu, H. L.-Yang, J. Y.-Drury, C. F.-Reynolds, W. D.-Tan, C. S.-Bai, Y. L.-He, P.-Jin, J.-Hoogenboom, G.*: 2011a. Using the DSSAT-CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutr. Cycl. Agroecosyst*. 89: 313-328.
- Liu, H. L.-Yang, J. Y.-Tan, C. S.-Drury, C. F.-Reynolds, W. D.-Zhang, T. Q.-Bai, Y. L.-Jin, J.-He, P.-Hoogenboom, G.*: 2011b. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. *Agr. Water Manage*. 98: 1105-1111.
- Megyes A.*: 2001. Növénytermesztési tényezők értékelése a CERES-Maize 3.5 modellel talajművelése tartamkísérletekben. PhD disszertáció. Debrecen.
- Nyéki, A.*: 2016. Relationship between precision crop production and sustainable agriculture. PhD Thesis. Széchenyi István University. Mosonmagyaróvár.
- Nyéki, A.-Milics, G.-Kovács, A. J.-Neményi, M.*: 2013. Improving yield advisory models for precision agriculture with special regards to soil compaction in maize production. [In: Stafford, J. V. (ed.) *Precision Agriculture'13*.] 443-448.
- Nyéki, A.-Milics, G.-Kovács, A. J.-Neményi, M.*: 2017. Effects of soil compaction on cereal yield: review. *Cereal Res. Commun*. 45. 1: 1-22.
- Paz, J. O.-Batchelor, W. D.-Babcock, B. A.-Colvin, T. S.-Logsdon, S. D.-Kaspar, T. C.-Karlen, D. L.*: 1999. Model-based technique to determine variable rate nitrogen for corn. *Agric. Syst*. 61: 69-75.
- Quiring, S. M.-Legates, D. R.*: 2008. Application of CERES-Maize for within-season prediction of rainfed corn yields in Delaware, USA. *Agricultural and Forest Meteorology*. 148: 964-975.
- Thorp, K. R.-Batchelor, W. D.-Paz, J. O.-Kaleita, A. L.-DeJonge, K. C.*: 2007. Using cross-validation to evaluate CERES-Maize yield simulations within a Decision Support System for Precision Agriculture. *Trans. of the ASABE*. 50: 1467-1479.

- Thorp, K. R.-DeJonge, K. C.-Kaleita, A. L.-Batchelor, W. D.-Paz, J. O.:* 2008. Methodology for the use of DSSAT models for precision agriculture decision support. *Comput. Electron. Agr.* 64: 276-285.
- Wu, Y. A.-Sakamoto, C. M.-Botner, D. M.:* 1989. On the application of the CERES-Maize model to the North China plain. *Agr. Forest. Meteorol.* 49: 9-22.
- Zhu, X. G.-Zhang, G.-Tholen, D.-Wang, Y.-Xin, C. P.-Song, Q. F.:* 2011. The next generation models for crops and agro-ecosystems. *Science China Information Sciences.* 54. 3: 589-597.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

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

Dr. Nagy János - Zelenák Annabella - Szabó Atala
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Vízmegvonás és az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) válasza

¹PAUK JÁNOS - ²NAGY ÉVA - ¹LANTOS CSABA

¹Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

²Oud's Amazone Trading Pty Ltd, Lismore, Ausztrália

Összefoglalás

Kísérletünkben, a teljes tenyésztési időszakban jól öntözött körülmények mellett, szigorú vízmegvonás hatását vizsgáltuk és vetettük össze a szárazságtűrésre létrehozott térképezési populáció 137 homozigóta genotípusán. A populáció a vízmegvonással szemben kontrasztos viselkedésű, szárazságra érzékeny 'Cappelle Desprez' francia nemesítésű búzafajtát és az amerikai származású toleráns 'Plainsman V' fajtát és a keresztezésükből létrehozott 135 doubled haploid genotípust tartalmazta. A populációt vízmegvonás hatásának vizsgálatára fenotipizáltuk üvegházban. Négy agronómiai szempontból fontos tulajdonság választ elemeltük, úgymint: növénymagasság, földfeletti összes biomassza szárazanyagtartalma, kaláshossz és egyedenkénti szemtermés. Szigorú vízmegvonással szemben a legnagyobb érzékenységet a földfeletti biomassza- és az egyedenkénti szemtermés szárazanyagtartalma mutatta. A két említett értékmérőben a populáció genotípusainak a vízmegvonás hatására mutatott átlagos depresszió százaléka elérte a 45-50%-ot. A növénymagasság és a kaláshossz csökkenés nem reagált ennyire érzékenyen a vízmegvonásra. Az átlag értékektől a populációban, mind pozitív, mind negatív irányban lényeges eltérések mutatkoztak. Ennek eredményeként a nemesítés számára jó lehetőség nyílt a toleráns és érzékeny genotípusok kiválogatására, a további élettani és nemesítési kutatásokhoz.

Kulcsszavak: búza, szárazság, vízhiány, fenotipizálás, tolerancia

Water-withdrawal and the response of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)

¹J. PAUK – ²É. NAGY – ¹CS. LANTOS

¹Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft., Szeged

²Oud's Amazone Trading Pty Ltd, Lismore, Australia

Summary

In our experiment, the effect of severe water-withdrawal under well-watered conditions throughout the growing season was tested and compared on 137 homozygous genotypes of a population established for drought tolerance. The population comprised the drought tolerant French wheat cultivar 'Cappelle Desprez' with contrasting water-withdrawal response and the drought tolerant American origin cultivar 'Plainsman V' and 135 doubled haploid genotypes generated from their crosses. The population was phenotyped in the greenhouse to study the effect of water-withdrawal. The responses of four agronomically important traits were analysed, namely: plant height, total aboveground biomass dry matter content, ear length and grain yield per individual. The highest sensitivity to severe water deprivation was shown by the dry matter content of aboveground biomass and grain yield per individual. In these two measures, the average percentage of genotypes depressed by water-withdrawal reached 45-50%. Plant height and grain length reduction were not as sensitive to water-withdrawal. There were significant differences from the population mean values, both positive and negative. As a result, breeding has a good opportunity to select tolerant and sensitive genotypes for further physiological and breeding research.

Keywords: wheat, drought, water-withdrawal, phenotyping, tolerance

Bevezetés

A vízhiány hatására a növények fejlődési fázisai érzékenyen reagálnak (*Bray et al.* 2000), ez a terméskomponensek változásához és végül terméscsökkenéshez

vezet (Blum 2011). A vízhiány (aszály) csökkentett biomassza akkumulációval jár (Barnabás et al. 2008), melynek a növénytermesztésben komoly következményei vannak (Cseuz 2009). A szárazságtűrés komplex genetikai tulajdonság, ezért egy-egy bélyegre történő szelekció nem hozhat gyors sikert (Nagy et al. 2017a). Ma még a szárazságtűréssel kapcsolatos öröklődési-, genetikai ismereteink hiányosak. A szárazság toleranciáért felelős gének kölcsönhatásai nem teljesen tisztázottak (Gupta et al. 2017). A nemesítők kezében csak részlegesen van olyan megbízható morfológiai bélyeg, fenológiai-, biokémiai-, élettani- vagy molekuláris genetikai teszt, amely egyszerűen alkalmazható lenne genotípusok aszálytűrésének tesztelésére (Heszky 2012). Az elmúlt évtizedekben a növényélettani és növény genetikai kutatások egyre átfogóbb képet adnak a szárazsággal szembeni ellenállásról (Abd El-Aty et al. 2022), amellyel segítik a növénynemesítőket új módszerek kidolgozásában (Kumar et al. 2018).

A szárazságtűrő, de gazdasági jelentőséggel nem bíró növények szárazság stresszre adott válaszainak megismerése is fontos (Cattivelli et al. 2008), mivel a megfigyelési adatok segítséget nyújthatnak gazdasági növényeink toleranciájának mélyebb megismeréséhez (Bhargava és Sawant 2013, Paul et al. 2016). Megbízhatóan szárazságtűrő fajta létrehozása komplex megközelítést igényel (Heszky 2012), melyben a fenotípusos tulajdonságok mellett, a genomika módszerei is teret kapnak (Mwadzingeni et al. 2016). Csak komplex nemesítői stratégiával lehet eredményt elérni a nemesítésben (Senapati et al. 2018, Abd El-Aty et al. 2022). A mostani ünnepi számban búza szárazságtűrésű kutatásaink termesztéshez közelálló kis részét mutatjuk be és elemezzük.

Anyag és módszer

A vízmegvonás hatásával szembeni tolerancia vizsgálatot a szegedi Gabonakutatóban rendelkezésre álló üvegházi komplex stressz-diagnosztikai rendszerben vizsgáltuk, a 'Plainsman V'/Cappelle Desprez' DH térképezési populációi 135 tételből álló géntérképezési célra előállított 135 DH homozigóta genotípusból álló (plusz a két szülő, összesen 137 genotípus) populáción.

Az üvegházi kísérletben – hogy elkerüljünk más abiotikus hatásokat, pl. eső, hősokk, UV-sugárzás stb. – két víznormával dolgoztunk. Az optimálisan

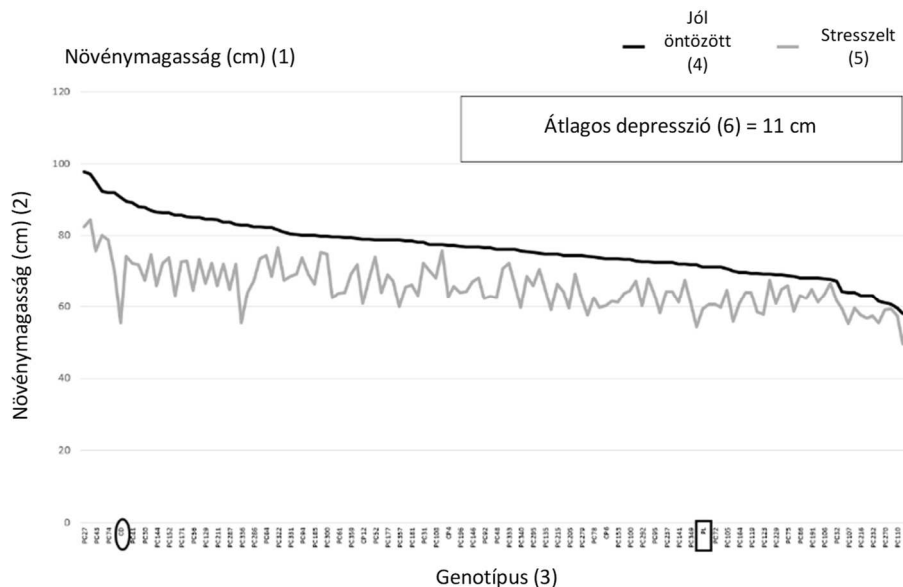
öntözött növényeket a talaj vízkapacitásának 60%-ára, míg a vízmegvonásban részesített növényeket a talaj vízkapacitásának 20%-ára öntöztük, tömegmérésre alapozott komputerrel kontrollált kísérleti rendszerben (Cseri et al. 2013). A növények öntözését fél automata öntöző berendezés végezte. A kísérlet során több kutatási szempontból fontos jelleget regisztráltunk (Nagy et al. 2017b). Ebben a dolgozatban ebből négyet (növénymagasság, föld feletti összes biomassa produkció, kaláshossz, egyedenkénti szemtermés tömeg) tárgyalunk meg. A grammban mért értékmérőknél szárazanyag súlyt mértünk mindenesetben, a növénymintát súly állandóságig szárítva szárítószekrényben. Az optimálisan öntözött kontrol növények a vegetációs periódus során 1575 ml vizet, a vízmegvonásos növények 575 ml vizet kaptak a teljes tenyészidőszak alatt. E számok alapján látható, hogy a vízmegvonás kb. harmad annyi öntözővíz mennyiséget jelentett az optimális öntözési normához képest. A kísérlet fontos módszertani részleteit Nagy et al. (2017ab, 2018) és Paul et al. (2016) dolgozataiban leírtak alapján végeztük.

Eredmények

A Kárpát-medencében a szárazság és a vízhiány több évszázadra visszamenőleg gondot okoz a mezőgazdaságban. A vízhiány „égető” problémáját a 2022-es tenyészidőszakban minden növényfaj természetője megtapasztalta. Búzában több évvel ezelőtt létrehozott szárazságtűrési térképezési populáció fenotipizálási eredményeit több szemszögből részletesen megvizsgáltuk. A következőkben négy agronómiai szempontból fontos tulajdonság mérési adatainak változását mutatjuk be - elsősorban nemesítési szemmel - jól öntözött és vízmegvonásos üvegházi körülmények között.

Amikor hosszantartó aszályos időjárás van, először a növények magasságán, alacsony termetén vesszük észre a tartós vízhiány tünetét. A 2022-es tenyészidőszakban, bármerre jártunk a Dunától keletre, már az utakról is feltűnőek voltak a nagyon alacsony repce-, búza-, később a napraforgó- és kukoricatáblák. Az 1. ábrán jól látható, hogy a 137 tesztelt homozigóta genotípus között a növénymagasság 98 cm és 58 cm között változott (felső fekete színű görbe mutatja). A DH genotípusok (PC...) között voltak az anyai 'Cappelle Desprez' szülőfajtánál néhány cm-rel magasabb- és az apai 'Plainsman V' szülőfajtánál néhány cm-rel alacsonyabb genotípusok is.

1. ábra. A szárazságtűrési búz populáció növénymagasság (cm) változás adatai jól öntözött és vízmegvonásos (stresszelt) kísérleti körülmények között



Megjegyzés: az „x” tengelyen a vizsgált genotípusok (137 db) kerültek feltüntetésre. Az ovális keretezés az érzékeny 'Capelle Desprez' (CD), míg a téglalap keretezés a toleráns búzaszülő, 'Plainsman' fajtát jelöli. Kiírva csak minden második genotípus neve (CP...) látható. Az „y” tengelyen a növénymagasság (cm) értéke látható.

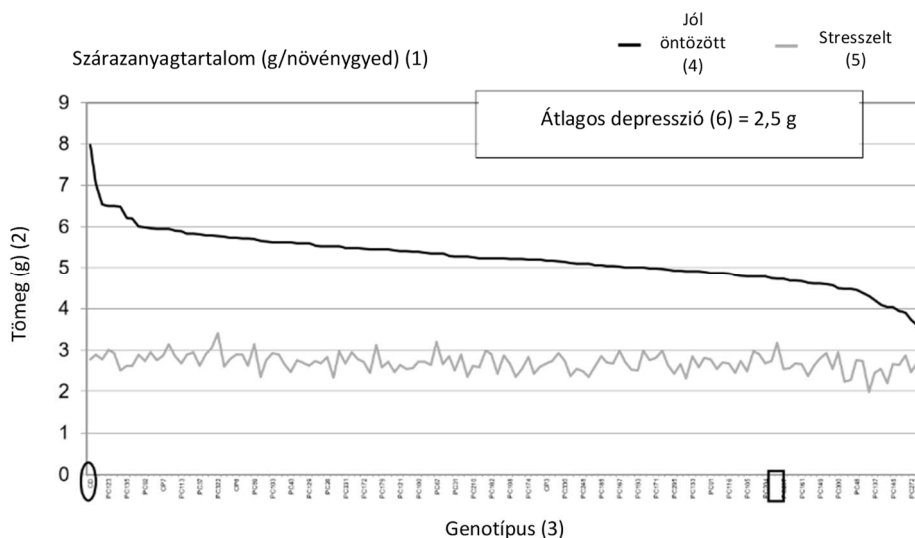
Figure 1. Plant height (cm) variation data for drought tolerant wheat populations under well-irrigated and water-withdrawal (stressed) experimental conditions. (1) Plant height (cm), (2) Plant height (cm), (3) Genotype, (4) Well-irrigated, (5) Stressed, (6) Average depression. Note: the "x" axis indicates the genotypes tested (137). Oval framing indicates the susceptible 'Capelle Desprez' (CD), while rectangular framing indicates the tolerant wheat variety 'Plainsman'. Only the name of every second genotype (CP...) is shown. The 'y' axis shows the plant height (cm).

A vizsgálat lényege az 1. ábra folytonos fekete vonala és az alatta futó szürke lefutású görbe értékei között látható. A 'Cappelle Desprez' (CD) fajta kb. 25 cm-t veszített a vízmegvonás hatására növénymagasságából. A többi genotípusnál a növénymagasság depresszió különböző mértékben változott. Általában megállapítható, hogy az alacsonyabb genotípusok kevesebbet, míg a magasabbak többet veszítettek magasságukból. Az egész populációra nézve, az átlagos növénymagasság depresszió 11 cm volt (1. ábra). A populációt alkotó genotípusok ennél több, vagy kevesebb növénymagasság változással

választak a vízmegvonásra. Az 1. ábrán a két görbe adatait összevetve minden genotípus válasza jól látható. Nemesítési szempontból, jelentős variációs különbség látható a populációban, amit közvetlen szelekcióra is jól ki lehetett használni.

A 2. ábra a szárazanyagra mért földfeletti biomasszahozam adatait mutatja be, ugyan annál a 137 tételt tartalmazó szárazságtűrési populációnál, mint amit előzőekben elemeztünk.

2. ábra. A földfeletti biomasszahozam szárazanyag-mennyiség (g) adatai jól öntözött és vízmegvonásos (stresszelt) körülmények között



Megjegyzés: az „x” tengelyen az ovális keretezés az érzékeny 'Cappelle Desprez', míg a téglalap keretezés a toleráns búzaszülőt, 'Plainsman V' jelöli. Az „y” tengelyen a növényegyenkénti szárazanyag-mennyiség (g) látható.

Figure 2. Data for aboveground biomass yield in dry matter (g) under well irrigated and water-withdrawal (stressed) conditions. (1) Dry matter content (g/plant), (2) Weight (g), (3) Genotype, (4) Well-irrigated, (5) Stressed, (6) Average depression. Note: the oval framing on the 'x' axis indicates the sensitive 'Cappelle Desprez', while the rectangle framing indicates the tolerant wheat parent 'Plainsman V'. The 'y' axis shows the dry matter content (g) per plant.

A két görbe (sötét fekete és szürke) lefutásán látható, hogy a földfeletti összes (szár, szalma, levél, szemtermés együtt) szárazanyag hozam nagyon érzékenyen reagált a vízmegvonásra. Az átlagos szárazanyag hozam depresszió 2,5 g/növényegyed volt. Ez azt mutatta a populációra nézve, hogy

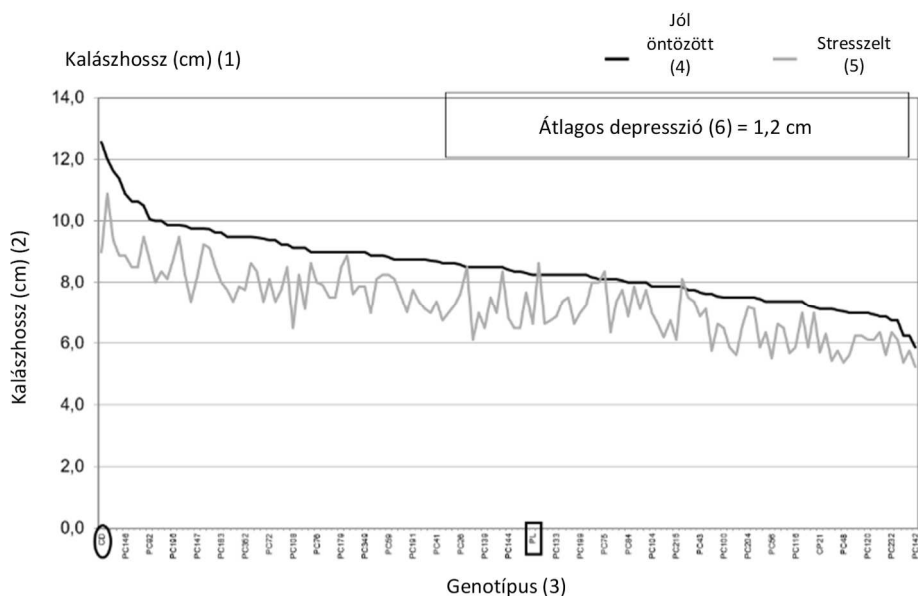
a földfeletti szárazanyag hozam depressziója megközelítőleg 50% volt (2. *ábra*). A szürke görbe lefutásán látszik, hogy a 137 genotípus között nem volt olyan jelentős variabilitás különbség, mint a növénymagasság esetén, de minden genotípus jelentős csökkenéssel reagált a vízmegvonásra. A legérzékenyebb genotípus a 'Cappelle Desprez' fajta volt. Az érzékenyfajta jól öntözött körülmények között 8 g-os egyedi földfeletti szárazanyag hozamot adott, amely 3 g alá esett vissza vízmegvonás hatására (2. *ábra*). A többi genotípus ennél „jobban” szerepelt. A toleráns 'Plainsman V' fajta ebben a paraméterben is bizonyította, hogy jól tolerálja a vízmegvonást. Az ábrán jól látható az a természetes válaszdás is, hogy a kisebb földfeletti tömeget adó genotípusok (alacsonyabb típusok) a vízmegvonásra kedvezőbben „válaszolnak”, mint a több biomasszát előállító genotípusok.

A kalász hossz változás a vízmegvonás hatására az eddigi tendenciákhoz képest eltérő módon alakult. A 3. *ábra* jól öntözött és vízmegvonás hatására kirajzolódó görbéiből látható, hogy a vízmegvonás hatására a kalász hossz depresszió átlagosan csak 1,2 cm volt. Százalékban nézve ez kb. 13% átlagos csökkenést jelentett, ami azt mutatta, hogy a vízmegvonás hatására a kalász hossz méret kevésbé reagált a vízmegvonásra, de ebben a tulajdonságban is jelentős különbségek vannak a genotípusok között. A görbék lefutásából látható, hogy három genotípusnak a kalásza 0,2–0,3 cm-rel hosszabb volt vízmegvonás hatására, mint jól öntözött körülmények között. A kísérlet során jól megfigyelhető volt, hogy a kalász hossz csak keveset, vagy alig változott (3. *ábra*), de a kalászok alsó és felső harmadában és a kalászkákban a termékenyülés hiányos volt. Összehasonlítva az eddig tárgyalt tulajdonságokkal a kalász hossz változást, elmondható, hogy a kalász hossz mérete, kevésbé érzékeny a vízmegvonásra, nem úgy, mint a szemtermés mennyisége, amit a következőkben tárgyalunk.

A szemtermés mennyiségének változását a vízmegvonásra a 4. *ábra* foglalja össze. A két görbére rátekintve látható, hogy jól öntözött körülmények között (fekete vonal) az egyedi növények termése a legmagasabb 3,2 g/növényegyed termés és az 1,6 g/növényegyed szemtermés között változott. Vízmegvonás hatására (stresszelt) a növényegyedek szemtermés mennyisége 1,9 és 0,65 g/növényegyed között változott (4. *ábra*). Ha az adatokat összehasonlítjuk, akkor azt kapjuk, hogy populációra számolva, az átlagos szemtermés depresszió 43% volt. Mivel ez átlag adat, ez azt jelenti – mint a görbéken látható – hogy a populációban voltak olyan egyedek, amelyeknél a csökkenés

mértéke az 50%-ot is meghaladta és voltak a vízmegvonást jól toleráló genotípusok is, ahol a depresszió ennél lényegesen mérsékeltebb volt (4. ábra). A nemesítésben és az élettani kutatásban, ezeket a genotípusokat keressük.

3. ábra. A kalászhossz (cm) adatai jól öntözött és vízmegvonásos (stresszelt) körülmények között



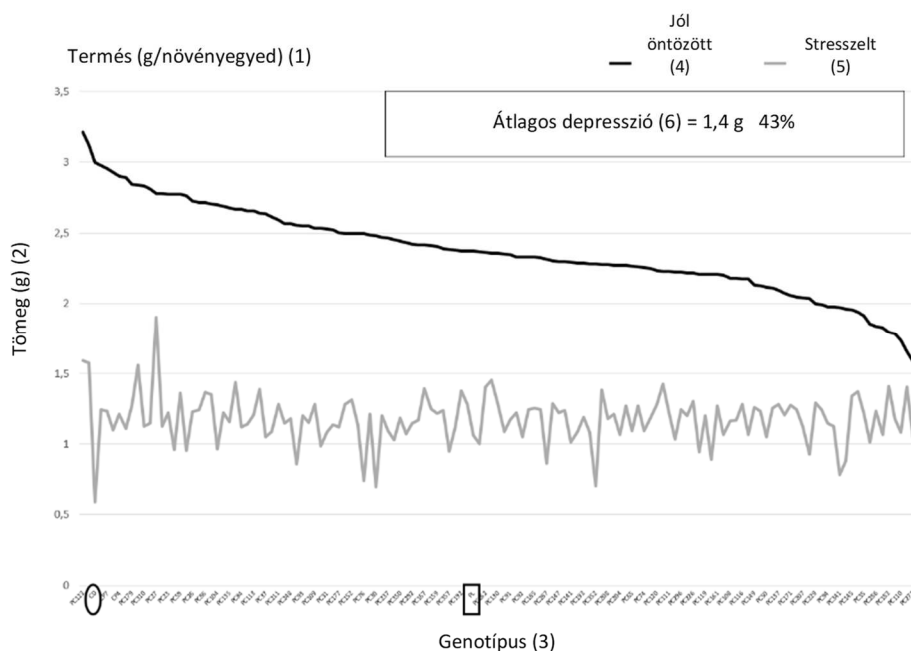
Megjegyzés: az „x” tengelyen az ovális keretezés az érzékeny 'Cappelle Desprez', míg a téglalap keretezés a toleráns búzaszülőt, 'Plainsman V' jelöli. Az „y” tengelyen a kalászhossz adata (cm) látható.

Figure 3. Data for ear length (cm) under well-irrigated and water-withdrawal (stressed) conditions. (1) Ear length (cm), (2) Ear length (cm), (3) Genotype, (4) Well-irrigated, (5) Stressed, (6) Average depression. Note: the oval framing on the 'x' axis indicates the sensitive 'Cappelle Desprez', while the rectangle framing indicates the tolerant wheat parent 'Plainsman V'. The 'y' axis shows the ear length (cm).

A jól öntözött és vízmegvonás hatását vizsgáló kísérletről látható, hogy a szemképződés különösen érzékeny a vízmegvonásra. A 3. ábra mutatta be, hogy a kalász fizikai hossza nem változott olyan lényegesen vízmegvonás hatására, mint az 1., 2. és 4. ábrán bemutatott értékmérők. Ez vezetett ahhoz, hogy a

szemtermés mennyisége és a földfeletti biomassza termés (szárazanyagban mérve), nagyon érzékenyen reagált a vízmegvonásra (2. és 4. ábra). Nemesítési szempontból nagyon fontos – lévén a közönséges búzát első sorban szemtermése miatt termesztjük –, hogy a 4. ábrán látható stressz hatásra mutatott szemterméshozam variabilitást jó szelekciós eljárással kövessük. Vizsgálataink eredményeként remélhető, hogy a szárazsággal, vízmegvonással kapcsolatos jobb toleranciát mutató genotípusokat be tudjuk építeni új fajtáink nemesítési programjába.

4. ábra. A növényegyenkénti termés (g) szárazanyag változása látható jól öntözött és vízmegvonásos (stresszelt) körülmények között



Megjegyzés: az „x” tengelyen az ovális keretezés az érzékeny 'Cappelle Desprez', míg a téglalap keretezés a toleráns búzaszülőt, 'Plainsman V' jelöli. Az „y” tengelyen a növényenkénti termés adata (g) látható.

Figure 4. The variation in yield (g) of dry matter per plant is shown under well-irrigated and water-withdrawal (stressed) conditions. (1) Yield (g/plant), (2) Weight (g), (3) Genotype, (4) Well-irrigated, (5) Stressed, (6) Average depression. Note: the oval framing on the 'x' axis indicates the sensitive 'Cappelle Desprez', while the rectangle framing indicates the tolerant wheat parent 'Plainsman V'. The 'y' axis shows the yield per plant (g).

Következtetések

Kísérletünkben a vízmegvonás hatását elemeztük az őszi búza négy fontos értékmérő tulajdonságára térképezési populáció felhasználásával. Az üvegházban mesterséges megvilágítás és fűtés nélkül a tél végén végzett kísérlet biztosította, hogy egyéb más abiotikus stressztől függetlenül tudjuk vizsgálni a vízmegvonás hatását. Négy agronómiai szempontból fontos tulajdonság vízmegvonással szembeni válaszát elemeztük: növénymagasság, földfeletti összes biomassza hozam szárazanyagtartalma, kalász hossz és növényegyedenkénti szemtermés. Az egész tenyészidőszak alatt alkalmazott vízmegvonással szemben a legnagyobb érzékenységet szárazanyagban mérve a földfeletti biomassza- és az egyedenkénti szemtermés mennyisége mutatta. A két agronómiai szempontból fontos értékmérő tulajdonság tekintetében szignifikáns különbségeket mértünk a kezelések között, a vízmegvonás hatására a populáció genotípusainak az átlagos depresszió százalék értéke 45–50%-os volt. Az erős stressz hatására genotípusonként eltérő mértékben hiányos termékenyülést figyeltünk meg. A növénymagasság és a kalász hossz nem reagált ennyire érzékenyen a vízmegvonásra. Az átlagos értékektől azonban, mind pozitív, mind negatív irányban – a bemutatott ábrák alapján – lényeges eltérések voltak, szárazságtűrés szempontjából pozitív és negatív törzseket egyaránt azonosítottunk. Ennek eredményeként a további élettani vizsgálatok és a nemesítés számára jó lehetőség nyílt vízmegvonás toleranciára érzékeny és toleráns genotípusok kiválogatására.

Összegzés

A 137 genotípust (135 DH törzs és két szülő) tartalmazó doubled haploid populációt vízmegvonással szemben fenotipizáltuk. Négy agronómiai szempontból fontos tulajdonság vízmegvonással szembeni válaszát jegyeztük fel és elemeztük. A négy értékmérő tulajdonság a növénymagasság, földfeletti összes biomassza hozam szárazanyagtartalma, kalász hossz és az egyedenkénti szemtermés voltak. Szigorú vízmegvonással szemben – a stressz egyharmada mennyiségű öntözővizet jelentett – a legnagyobb érzékenységet a földfeletti biomassza- és az egyedenkénti szemtermés mennyisége mutatta. A két említett értékmérőben a populáció genotípusainak a vízmegvonás hatására

mutatott átlagos depresszió százaléka elérte a 45–50%-ot. A növénymagasság és a kalász hossz csökkenés nem reagált ennyire érzékenyen a vízmegvonásra. Az átlagos értékektől a populációban, mind pozitív, mind negatív irányban lényeges eltérések mutatkoztak. Eredményeinkből látható, hogy a szigorú vízmegvonás búzában a szemtermés kb. 50%-át veszélyezteti. Ha ehhez még más abiotikus stresszek (hő sokk, erős UV sugárzás) is kombinálódnak, akkor a termesztésben rendkívüli termés kieséssel is számolnunk kell. Ezért a különböző megelőzési, védekezési (nemesítés, vízmegtartás, öntözés) megoldásoknak alapvetően fontos szerepe van a gazdálkodásban. Biztonsággal mondhatjuk, nem csak búzánál, hanem az összes termesztett növényfajunknál.

IRODALOM

- Barnabás, B.–Jäger, K.–Fehér, A.*: 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive process in cereals. *Plant Cell & Environment*. 31: 11–38.
- Bhargava, S.–Sawant, K.*: 2013. Drought stress adaptation: metabolic adjustment and regulation of gene expression. *Plant Breeding*. 132: 21–32.
- Blum, A.*: 2011. Phenotyping and selection. [In: Blum, A. (ed.) *Plant breeding for water-limited environments*.] New York. Springer-Verlag. 153–216.
- Bray, E. A.–Baley-Serres, J.–Weretilnyik, E. A.*: 2000. Responses to abiotic stresses. [In: Buchanan, B. B. et al. (eds.) *Biochemistry & Molecular Biology of Plants*.] American Society of Plant Physiologists. Rockville. 1158–1177.
- Cattivelli, L.–Rizza, F.–Badeck, F. W.–Mazzucottelli, E.–Mastrangelo, M. A.–Francia, E.–Maré, C.–Tondelli, A.–Stanca, M. A.*: 2008. Drought tolerance improvement in crop plants: An integrated view from breeding to genomics. *Field Crops Research*. 105: 1–14.
- Cseri, A.–Sass, L.–Törjék, O.–Pauk, J.–Vass, I.–Dudits, D.*: 2013. Monitoring drought responses of barley genotypes with semi-robotic phenotyping platform and association analysis between recorded traits and allelic variants of some stress genes. *Australian Journal of Crop Science*. 7: 1560–1570.
- Cseuz, L.*: 2009. A szárazságtűrő őszi búza (*Triticum aestivum* L.) nemesítésének lehetőségei és korlátai. PhD értekezés. SZIE. Gödöllő. 125.
- Gupta, P. K.–Balyan, H. S.–Gahlaut, V.*: 2017. QTL analysis for drought tolerance in wheat: Present status and future possibilities. *Agronomy*. 7. 1: 5: 1–21.
- Heszky L.*: 2012. Miért nincsenek szárazságtűrő növényfajtáink? (2) *Agrofórum*. 23. 10: 6–10.

- Kumar, S.-Kumari, J.-Bansal, R.-Kuri, B. R.-Upadhyay D.*: 2018. Multi-environmental evaluation of wheat genotypes for drought tolerance. *Indian Journal of Genetics*. 78. 1: 26–35.
- Abd El-Aty, M. S.-Katta, Y. S.-Abd Eel Moaty, B. El-Abd-Mahmoud, S. M.-Ibrahim, O. M.-Ewada, M. A.-El-Saadony, M. T.-Abu Qamar, S. F.-El-Tarabily, K. A.- El-Taha, A. M.*: 2022. The combining ability for grain yield and some related characteristics in rice (*Oryza sativa* L.) under normal and water stress conditions. *Frontiers in Plant Science*. 13: 866742.
- Mwadzigeni, L.-Shimelis, H.-Dube, E.-Laing, M. D.-Tsilo, T. J.*: 2016. Breeding wheat for drought tolerance: Progress and technologies. *Journal of Integrative Agriculture*. 15. 5: 935–943.
- Nagy É.-Kenny, P.-Kondic-Spika, A.-Grausgruber, H.-Allahverdiyev, T.-Sass L.-Vass I.-Pauk J.*: 2017a. A szárazság- és sóstressz hatásának vizsgálata búza fajtákon üvegházi fenotipizálási kísérletben. *Növénytermelés*. 66. 2: 69–87.
- Nagy, É.-Lantos, C.-Pauk, J.*: 2017b. Selection of drought tolerant and sensitive genotypes from wheat DH population. *Acta Physiology Plantarum*. 39. 12: 261.
- Nagy, É.-Lehoczki-Krsjak, S.-Lantos, C.-Pauk, J.*: 2018. Phenotyping for testing drought tolerance on wheat varieties of different origins. *South African Journal of Botany*. 116: 216–221.
- Paul, K.-Pauk, J.-Deák, Z. S.-Sass, L.-Vass, I.*: 2016. Contrasting response of biomass and grain yield to severe drought in Cappelle Desprez and Plainsman V. wheat cultivars. *Peer J*. doi.org/10.7717/peerj.1708.
- Senapati, N.-Stratonovich, P.-Matthew, J.-Semenos, P.-Semenos, M. S.*: 2018. Drought tolerance during reproductive development is important for increasing wheat yield potential under climate change in Europe. *Journal of Experimental Botany*. doi:10.1093/jxb/ery226.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Pauk János – *Dr. Lantos Csaba
Gabonakutató Nonprofit Közhasznú Kft.
Szeged
Alsó kikötő sor 9.
H-6726
*csaba.lantos@gabonakutato.hu

Nagy Éva
Oud's Amazone Trading Pty Ltd.
Lismore
Risleys Hill Road
Federal 2480
NSW Australia

A 40 éves debreceni tartamkísérletek néhány fontosabb eredménye

PEPÓ PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A tartamkísérletek különleges és meghatározó szerepet játszanak a növénytermesztési kutatásokban. Jelentőségük messze túlmutat a szűkebb szakmai területen és más diszciplínák (pl. agrokémia, talajtan, klimatológia, környezetvédelem, élelmiszerminőség és -biztonság stb.) részére nyújt semmivel sem pótolható adatokat, információkat. Nem véletlen ezért, hogy több, fejlett országban a tartamkísérletek nemzeti védettséget élveznek. A 40 éves debreceni tartamkísérletek több szántóföldi növényfaj termesztéstechnológiai elemeit, azok interaktív hatásait vizsgálják. A részletes vizsgálatok kiterjednek a növények termés mennyiségére, minőségére, a fontos növényfiziológiai paraméterekre (*in situ*, non-destruktív mérések), a növények fenológiai, fenometriai, növénykórtani, termésképző elemeire. A tartamkísérletek komplexitását szolgálják a tartamkísérletek csernozjom talajának tápanyag- és vízforgalmi vizsgálatai a növények vegetációs periódusában. Ezeknek a tartamkísérleteknek az eredményeit számos területen (kutatás, egyetemi oktatás, szaktanácsadás, szakigazgatás stb.) lehet hatékonyan felhasználni, amely még indokoltabbá teszi a tartamkísérletek fenntartását és nagyobb mértékű támogatását.

Kulcsszavak: debreceni tartamkísérletek, csernozjom talaj, szántóföldi növényfajok, komplex vizsgálatok

Some important results of the 40 year-old long-term experiments in Debrecen

P. PEPÓ

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

Summary

Long-term experiments play a special and crucial role in crop production research. Their significance goes far beyond the narrow professional field and provides irreplaceable data and information for other disciplines (e.g. agrochemistry, soil science, climatology, environmental protection, food quality and safety, etc.). It is therefore no coincidence that in many developed countries, long-term experiments enjoy national protection. The 40-year-old long-term experiments in Debrecen investigate the cultivation technology of several arable crop species and their interactive effects. The detailed studies cover crop yield, quality, important plant physiological parameters (*in situ*, non-destructive measurements), phenological, phenometric, phytochemical and yield-forming elements of the plants. The complexity of the long-term experiments is supported by the nutrient and water cycle studies of the chernozem soil during the growing season of the plants. The results of these experiments can be used effectively in a number of areas (research, university teaching, technical advice, professional management, etc.), which makes it even more justified to maintain and increase support for these experiments.

Keywords: Debrecen long-term experiments, chernozem soil, field crop species, complex studies

Bevezetés

A növénytermesztés technológiai folyamatában az adott növény termés-mennyiségére, termésbiztonságára és termésminőségére jelentős számú ökológiai, biológiai és antropogén (agrotechnikai) tényező hat. Ezek a

tényezők egyenként, individuálisan is jelentős mértékben tudják befolyásolni a kultúrnövények termésképződési folyamatait, de még nagyobb számú azon kapcsolatok sokasága, amelyek a tényezők közötti kölcsönhatások eredményeként jelennek meg. Mivel az ökológiai feltételek (időjárás, talaj) jelentősen képesek módosítani az egyedi és interaktív hatásokat, ezért ezeket a kísérleteket eltérő termőhelyi feltételek mellett, különböző tájörzetekben célszerű beállítani és folyamatosan végezni. Hangsúlyozni kell ugyanakkor, hogy egy-egy tényező hatásának egzakt meghatározásához az szükséges, ha az adott agrotechnikai vagy biológiai tényező(ke)t konzekvensen, éveken keresztül, ugyanazon a területen folytatjuk. Ezek a tartamkísérletek rendkívül értékes, hosszú idősoros adatokat szolgáltatnak a növénytermesztési technológiák komplex fejlesztéséhez. A tartamkísérletek jelentősége azonban napjainkban ennél sokkal távolabbra is mutat. A növénytermesztési fejlesztések mellett alapadatokat, nélkülözhetetlen információkat szolgáltatnak a növénynemesítés, a talajtan, az agrokémia, a növényvédelem és egyéb diszciplínák adatbázisához, ugyanakkor jelentősen hozzájárulnak a szaktanácsadási munkához, a klímaváltozás hatásainak meghatározásához, illetve az ahhoz történő adaptációhoz, a környezetvédelmi feladatok, az élelmiszerbiztonsági problémák megoldásához is. Nem véletlen, hogy a fejlett országokban a tartamkísérletek „védettek”, fenntartásuk nemzeti érdek.

Hazai és nemzetközi összehasonlításban is rendkívül nívós és eredményes kutatás folyik a Debreceni Egyetemen található tartamkísérletekben. Ezeknek a tartamkísérleteknek az előzményei az 1960–1970-es években lettek beállítva eltérő termőhelyi feltételek mellett (Hortobágy, Hajdúhadház, Hajdúszoboszló, Nagyhegyes, Hajdúböszörmény). A kísérletek szétaprózottsága, azok rendkívül nehéz gépi kiszolgálása miatt a tartamkísérletek részbeni összevonására került sor, illetve bizonyos tartamkísérletek folyamatos fenntartása történt. Így 1983-ban létesült a Látóképi Kísérleti Telep (Bocz Ernő, Ruzsányi László professzorok és mások hathatós közreműködésével), valamint folytatódtak a kísérletek Hajdúböszörményben és újak kerültek beállításra Debrecenben.

A tartamkísérletekben számos kísérleti megfigyelést, mérést, felvételezést szükséges végezni. Ezek egyrésze alapvizsgálatokat jelent (agronómiai, növényegészségügyi, termésképző elemek, termésmennyiség stb.), míg vannak olyan vizsgálatok, amelyek – az alapvizsgálatokat bővítve – sokkal részletesebb információkat szolgáltatnak (pl. környezetvédelmi, növényi

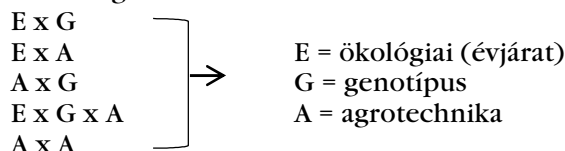
termékminőség, tápanyagmérleg, vízmérleg stb. vizsgálatok). Az elmúlt évtizedben jelentősen bővítettük a műszerezettségi kapacitásunkat a tartamkísérletekben végezhető *in situ* (szántóföldön), non-destruktív (roncsolás mentes) növényfiziológiai mérésekkel.

Eredmények a tartamkísérletekben (Debrecen-Látókép, Pepó Péter, 2022)

Tradicionális technológiai fejlesztések

- Az agrotechnikai elemek individuális elemzése.

- Interaktív hatások meghatározása:



Klíímaváltozás hatásainak meghatározása

- Klímaváltozás hatása a termésmennyiségre.

- Klímaváltozás hatása a termésminőségre.

- A klímaváltozás negatív hatásainak mérséklése.

Szántóföldi növényfajok genotípusainak agrotechnikai tényezőkre adott reakciói (fajtaspecifikus technológiák)

- Növényfajok:

őszi búza, kukorica, napraforgó, repce, csemegekukorica, egyéb.

- Agrotechnikai elemek:

tápanyag reakció, tőszám reakció, kölcsönhatások.

A 40 éves tartamkísérleteinkben számos szántóföldi növényfaj szerepelt a modellnövények között, így a napraforgó, csemegekukorica, borsó, szója, tritikale, őszi árpa, durum búza, szemescirok stb. A két legfontosabb vizsgált növényfajunk azonban az elmúlt évtizedek során az őszi búza és a kukorica volt, így e két növény legfontosabb eredményeit mutatjuk be.

A búza második legnagyobb területen termesztett növényünk a szántóföldön. A búza termésmennyiségét részben az agroökológiai körülmények (évjárat, talaj), részben a fajta, részben az alkalmazott agrotechnikai műveletek szintje,

intenzitása, illetve a végrehajtás minősége határozza meg (Bocz *et al.* 1983, Pepó 2000). A búza termésmennyiségét jelentősen befolyásolhatja a vetésváltás, az elővetemény. Az elővetemény nem csak a természintet határozza meg, hanem jelentős hatással lehet más agrotechnikai elemekre (tápanyagellátás, növényvédelem stb.), azok hatékonyságára is (Hornok és Pepó 2007, Pepó 2009b). A búza termesztéstechnológiájában kulcsfontosságú agrotechnikai elem a tápanyagellátás, a trágyázás (Jolánkai 1982, Bocz és Pepó 1985, Ruzsányi 1991, Berzsenyi 1993).

A kijuttatott tápanyagok hatékony érvényesülését részben az agroökológiai feltételek (Blaskó 1983, Blaskó és Zsigrai 2003, Kovacevic 2005), részben az alkalmazott genotípus (Pepó 2007, Jakab *et al.* 2019), részben az agrotechnikai elemek (vetésváltás, öntözés, növényvédelem stb.) befolyásolhatják.

A búza termesztéstechnológiájában az ökológiai, genetikai és agrotechnikai tényezők nem külön-külön fejtik ki hatásukat, hanem a tényezők között szoros, eltérő irányú (pozitív és negatív) és mértékű interaktív kölcsönhatások léteznek (Pepó 2006b, Mengistu *et al.* 2010). Ezek a kölcsönhatások – a rendszer összetettsége, bonyolultsága miatt – hosszabb időtartam alatt, egzakt módon beállított tartamkísérletekben vizsgálhatók megbízhatóan.

A kukorica, mint C4-es növény az egyik legnagyobb termőképességgel rendelkező szántóföldi növényi kultúra a mérsékelt éghajlati övben. A nemesítés eredményeként jelentősen nőtt a kukorica genetikai terméspotenciálja. Az elmúlt évtizedekben számos hazai és külföldi kísérletben vizsgálták a különböző tényezőknek a kukorica termésmennyiségére és termésstabilitására gyakorolt hatását. Az egyik ilyen klasszikus tartamkísérlet (Győrffy 1976) eredményei szerint a trágyázás 27%-ban, a fajta 26%-ban, az ápolás 24%-ban, az állománysűrűség 20%-ban, a mélyművelés 3%-ban határozta meg a kukorica termését. Sárvári (1995), Berzsenyi és Lap (2005), Nagy (2005), Árendás (2006), Pepó (2006a), Izsáki (2007), Széll *et al.* (2010) ugyancsak több évtizedes tartamkísérleteik alapján bizonyították a műtrágyázás jelentős termésnövelő hatását a kukoricánál. A trágyázás termést befolyásoló hatását nagymértékben módosította a vízellátás (Debreczeni és Debreczeniné 1983, Jakab *et al.* 2005, Körschens 2006, D'Haene *et al.* 2007, Vad *et al.* 2007, Pepó 2009a, Vári és Pepó 2011, Jakab *et al.* 2016).

Anyag és módszer

A tartamkísérletek beállítása 1983. évben történt mészlepedékes csernozjom talajon. A tartamkísérlet Debrecentől 15 km-re, a Hajdúságban található (É szélesség $47^{\circ} 33'$, K hosszúság $21^{\circ} 27'$). A kísérlet beállításakor végzett kiindulási talajvizsgálati eredmények azt bizonyították, hogy a csernozjom talaj fizikai és kémiai tulajdonságai, valamint vízgazdálkodási paraméterei rendkívül kedvezőek.

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

A polifaktoriális tartamkísérletben a legfontosabb agrotechnikai elemek vizsgálatát végezzük, melyek a következők:

- vetésváltás, trágyázás, vízellátás, egyéb agrotechnikai elemek.

A szántóföldi növényfajok fajta/hibrid tesztelési tartamkísérletben hat tápanyagszinten, három különböző elővetemény után vizsgáljuk a genotípusok természetes tápanyaghasznosító képességét, trágyareakcióját. E tartamkísérletben a vizsgált tényezők a következők:

- trágyázás, vetésváltás, genotípus.

Eredmények

A tartamkísérletek hosszú idősoros adatai kitűnő lehetőséget nyújtanak a globális klímaváltozás növénytermesztési hatásainak meghatározására. Tájékozódásunkban, Debrecenben a meteorológiai mérések kezdete óta az évi csapadék mennyisége 100–130 mm-rel csökkent, az évi középhőmérséklet pedig +0,4–0,6 °C-kal nőtt, jelentős évi ingadozásokkal. Különösen felgyorsult ez a kedvezőtlen folyamat az elmúlt húsz évben (1. táblázat).

1. táblázat. A klímaváltozás idősoros elemzése
(30 éves átlagok, Debrecen, saját elemzése)

Hónapok (1)	Hőmérséklet (°C)			Csapadék (mm)	
	(2)		Különbség (6)	(3)	
	1961–1990 évek (4)	1981–2010 évek (5)		1961–1990 évek (4)	1981–2010 évek (5)
Január (7)	-2,6	-1,4	+1,2	37,4	29,7
Február (8)	0,2	0,1	-0,1	30,2	31,0
Március (9)	5,0	5,1	+0,1	33,5	30,2
Április (10)	10,7	11,1	+0,4	42,4	52,8
Május (11)	15,8	16,6	+0,8	58,8	64,0
Június (12)	18,7	19,4	+0,7	79,5	66,5
Július (13)	20,3	21,3	+1,0	65,7	66,1
Augusztus (14)	19,6	20,7	+1,1	60,7	49,0
Szeptember (15)	15,8	15,8	0	38,0	47,5
Október (16)	10,3	10,4	+0,1	30,8	37,9
November (17)	4,5	4,6	+0,1	45,2	41,6
December (18)	-0,2	-0,1	+0,1	43,5	43,7
Átlag/Összes (19)	9,84	+0,46 10,30		565,3	-5,2 560,1

Table 1. Time series analysis of climate change (30-year averages, Debrecen, own analysis). (1) Months, (2) Temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Years 1961–1990, (5) Years 1981–2010, (6) Difference, (7) January, (8) February, (9) March, (10) April, (11) May, (12) June, (13) July, (14) August, (15) September, (16) October, (17) November, (18) December, (19) Average/All

Ezzel a kevesebb és rendkívül szeszélyes csapadékmennyiséggel kell úgy gazdálkodnunk, hogy több termést és jobb minőséget állítsunk elő a szántóföldi növényeinkkel. A nemesítés eredményeként egyre jobb adaptációs képességű új genotípusok kerülnek köztermesztésbe. A 40 éves tartamkísérleti eredményeink adott őszi búzafajtánál (GK Öthalom) bizonyították, hogy az évjáratnak igen jelentős mind a kontroll, mind az $N_{opt}+PK$ műtrágya kezelésben a termésre gyakorolt hatása. A kontroll kezelés átlagtermése 3973 kg/ha, az $N_{opt}+PK$ átlagtermése 6717 kg/ha volt. A termésmaximumok a vizsgálati 31 év alatt 4343–8862 kg/ha között változtak, azaz a kedvező (2015. év) és a kedvezőtlen (2003. év) évjárat terméskülönbsége kétszeres volt (1. ábra).

1. ábra. Az évjárat hatása a GK Öthalom őszi búza fajta termésére (Debrecen, csernozjom talaj, 1986–2015)

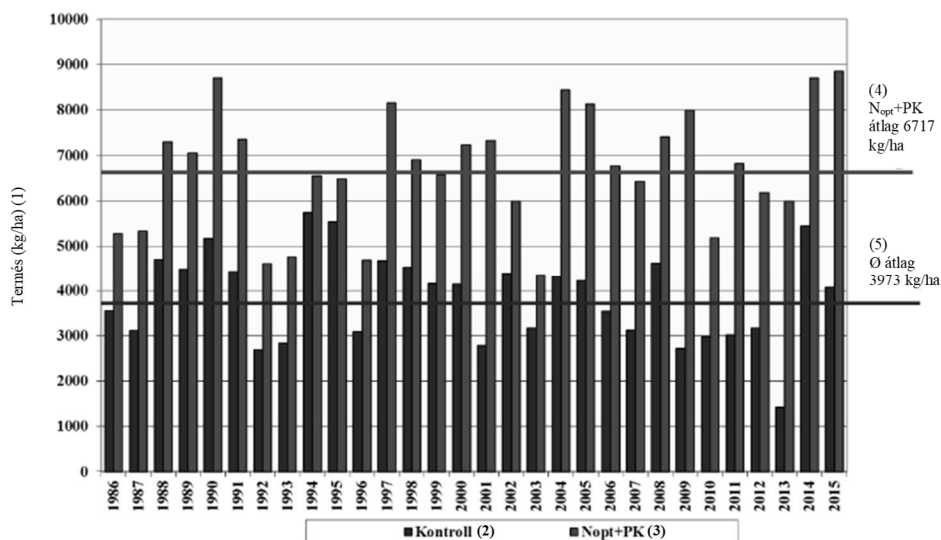


Figure 1. Effect of crop year on the yield of the winter wheat variety GK Öthalom (Debrecen, chernozem soil, 1986–2015). (1) Yield (kg ha^{-1}) (2) Control, (3) $N_{opt}+PK$, (4) $N_{opt}+PK$ average 6717 kg ha^{-1} , (5) \bar{O} average, 3973 kg ha^{-1} ,

De az évjáratnak, a klímaváltozásnak nem csak a búza termésmennyiségére, hanem annak sütőipari minőségére, illetve minőségstabilitására is hatása van. Tartamkísérletben a búzafajták átlagában a növekvő NPK műtrágyázás hatására a sikértartalom növekedését tapasztaltuk eltérő évjáratokban. A sikértartalom a kedvező évjáratban 20%-ról 35%-ra, extrém száraz évben pedig 30%-ról 40%-ra nőtt. Önmagában azonban a sikértartalom (egyszerű paraméter) nem fejezi ki a búzaliszt valós sütőipari minőségét. A valorigráfus értékszám (komplex paraméter) azt bizonyította, hogy extrém száraz évjáratban - a nagy nedves sikértartalom ellenére - rendkívül kedvezőtlen VÉ számokat kaptunk (32-44) a kedvező évjárhoz (48-72) képest. Extrém száraz évjáratban a búza strukturális, szerkezeti fehérjéinek képződése zavart szenvedett, amely gyenge sütőipari minőséget eredményezett (2. ábra).

2. ábra. Búzafajták minősége eltérő vízellátottságú évjáratokban (Debrecen, csernozjom talaj)

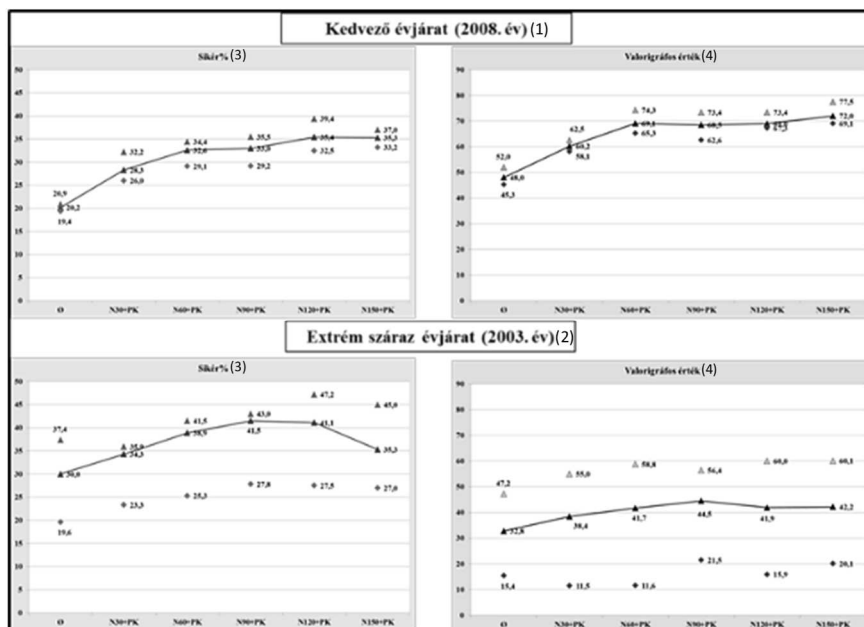


Figure 2. Quality of wheat varieties in different water supply years (Debrecen, chernozem soil). (1) Favourable crop year (2008), (2) Extremely dry crop year (2003), (3) Gluten%, (4) Valorigraph score

Tartamkísérleteink lehetőséget nyújtanak különböző szántóföldi növényfajok tápanyagreakciójának egzakt meghatározásához. Az agronómiailag optimalizált, környezetbarát, költséghatékony trágyázáshoz szükséges a fajták/hibridek természetes tápanyag-hasznosító képességének, trágyareakciójának, az optimális NPK adagnak, valamint a trágyareakció-görbéknek az ismerete. Az őszi búza fajták természetes tápanyag-hasznosító képessége jelentősen eltérhet egymástól, de ilyen nagy terméskülönbséget lehetett megállapítani a búzafajták termésmaximumában is, valamint az optimális N+PK igényében (N=60–150 kg/ha+PK között változott) (3. ábra).

3. ábra. Őszi búzafajták tápanyaghasznosítása
(Debrecen, 2020)

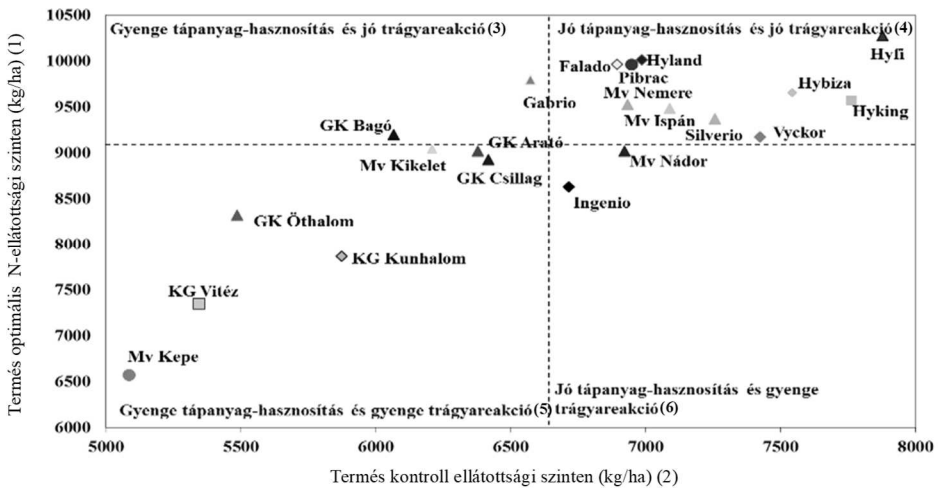


Figure 3. Nutrient utilisation of winter wheat varieties (Debrecen, 2020). (1) Yield at optimum N supply level (kg ha^{-1}), (2) Yield at control supply level (kg ha^{-1}), (3) Weak nutrient utilisation and favourable fertiliser response, (4) Favourable nutrient utilisation and favourable fertiliser response, (5) Weak nutrient utilisation and weak fertiliser response, (6) Favourable nutrient utilisation and weak fertiliser response

A fajtákat speciális koordináta-rendszerben ábrázolva tápanyag-hasznosításuk és trágyareakciójuk alapján négy csoportba lehet besorolni. Ezek a típusok hasznos segítséget nyújthatnak a gyakorlati trágyázási technológiák megvalósításában (4. ábra).

4. ábra. Őszi búzafajták tápanyagreakciója
(Debrecen, csernozjom talaj, 2017)

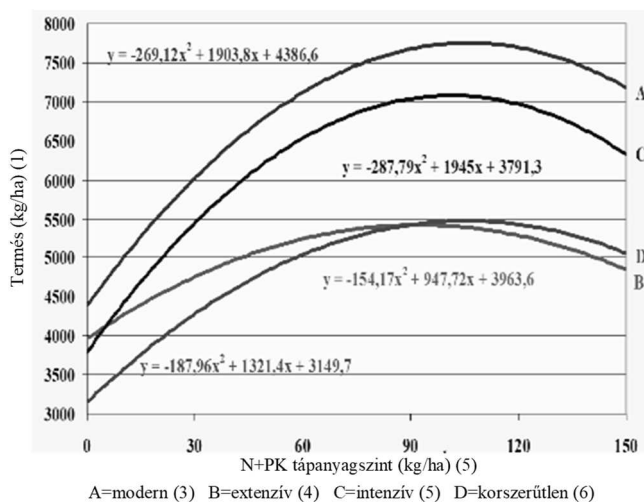


Figure 4. Nutrient response of winter wheat varieties (Debrecen, chernozem soil, 2017). (1) Yield (kg ha⁻¹), (2) N+PK nutrient level (kg ha⁻¹), (3) Modern, (4) Extensive, (5) Intensive, (6) Obsolete

Tartamkísérleti eredményeink alapján azt tudtuk megállapítani, hogy a búzanemesítés számos kimagasló eredménye (termésmennyiség, minőség, betegségtolerancia stb.) mellett hozzájárult a fajták tápanyag-hasznosításának a javításához is. A régi genotípussal (GK Öthalom) összehasonlítva azt tapasztaltuk, hogy az új búza genotípusoknak nagyobb a termésmaximumuk (+1800 kg/ha növekmény), jobb a műtrágyázási terméstartalomuk (+950 kg/ha növekmény), miközben kevesebb műtrágyát igényelnek (-35 kg/ha N-nel kevesebb + kevesebb PK) (2. táblázat).

Elméleti és gyakorlati szempontból kiemelt fontosságúak azok a tartamkísérleti eredmények, amely a különböző agrotechnikai tényezők több évtizedes hatását különböző klímafeltételek mellett mutatják meg. A polifaktoriális tartamkísérletünk 38 éves eredményeit különböző évjárat típusokat figyelembe véve dolgoztuk fel és értékeltük az agrotechnikai elemek hatását. Empirikusan minden növénytermesztő ismeri, tudja a vetésváltás, a trágyázás őszi búza és kukorica termésére gyakorolt hatását. Sokkal nehezebb azonban az egyes tényezők hatását számszerűsíteni (a

termésvesztéséget vagy terméstöbbletet konkrétan meghatározni), de különösen nehéz a tényezők interaktív hatását parametrizálni. A feladatot nehezíti az évjáráthatás is. Ezeknek a kérdéseknek a konkrét megválaszolására a tartamkísérletek eredményei adnak lehetőséget. Őszi búza esetében a legnagyobb gyakorisággal az átlagos vízellátottságú évjáratok (62%) fordultak elő a vizsgált években (1986–2021. évek). A búza átlagos évjáratban adta a legnagyobb termést mind a bikultúra (elővetemény = kukorica) vetésváltásban (8204 kg/ha), mind a trikultúra (elővetemény = borsó) vetésváltásban (8770 kg/ha).

2. táblázat. *Genetikai haladás a búzafajták tápanyaghasznosításában (Debrecen, csernozjom talaj, 2000–2016)*

Periódus (1)	Régi fajta (GK Öthalom) (2)	Új fajták átlaga (3)	Differencia (4)
Természetes tápanyaghasznosítás (kontroll) (5)	3750	4500	+750
Maximális termés (6)	6800	8600	+1800
Mtr. terméstöbblete (7)	3200	4150	+950
$N_{opt}+PK$ (8)	125	90	-35

Table 2. Genetic progress in the nutrient utilisation of wheat varieties (Debrecen, chernozem soil, 2000–2016). (1) Period, (2) Old variety (GK Öthalom), (3) Average of new varieties, (4) Difference, (5) Natural nutrient utilisation (control), (6) Maximum yield, (7) Fertilisation yield surplus, (8) $N_{opt}+PK$

A műtrágyázás termésnövelő hatása is az átlagos évjáratban volt a legnagyobb (5722 kg/ha, illetve 3219 kg/ha). Műtrágyázással tehát a kedvezőtlen elővetemény (kukorica) hatását jelentősen mérsékelni lehetett, azaz a kedvező előveteménnyel (borsó) összehasonlítva a termésmaximumok közötti különbség csak 500 kg/ha volt. Jelentősen eltérő műtrágya adagok használatával lehetett azonban ezt az eredményt elérni (kukorica elővetemény után $N_{150}+PK$, borsó elővetemény után $N_{50-100}+PK$). Az átlagos évjáratához viszonyítva kisebb termést értünk el mind a száraz (5590 kg/ha, illetve 7279 kg/ha), ill. csapadékos évjáratban (5419 kg/ha, illetve 6190 kg/ha). A borsó kedvező elővetemény értéke különösen aszályos évjáratban jelentkezett mind hiányos tápanyagellátás

(kontroll) (1892 kg/ha, illetve 4426 kg/ha), mind optimális NPK dózis esetében (5590 kg/ha, illetve 7279 kg/ha termések, azaz 1689 kg/ha terméskülönbség) (3. táblázat).

3. táblázat. *Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása az őszi búza termésére (Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2021)*

Mtr. kezelés (1)	Termés (kg/ha)					
	(2)					
	Aszályos évjárat (9 év, 24%) (3)		Átlagos évjárat (23 év, 62%) (4)		Csapadékos évjárat (5 év, 14%) (5)	
Bikultúra (6)						
Kontroll (7)	1892	3698	2482	5722	3162	2257
N _{opt} +PK (8)	5590		8204		5419	
Trikultúra (9)						
Kontroll (7)	4426	2853	5551	3219	4885	1305
N _{opt} +PK (8)	7279		8770		6190	

Megjegyzés: bikultúra opt N=150 kg/ha+PK, trikultúra opt N=50–100 kg/ha+PK.

Table 3. Effect of crop rotation, crop year, fertilisation on winter wheat yield (Debrecen, chernozem soil, non-irrigated, 1986–2021). (1) Fertiliser treatment, (2) Yield (kg ha⁻¹), (3) Drought years (9 years, 24%), (4) Average crop years (23 years, 62%), (5) Wet crop years (5 years, 14%), (6) Biculture, (7) Control, (8) N_{opt}+PK, (9) Triculture. Note: biculture opt N=150 kg ha⁻¹+PK, triculture opt N=50–100 kg ha⁻¹+PK.

Rendkívül tanulságosak a hosszú távú tartamkísérleteink kukoricára vonatkozó eredményei. A kukorica esetében a legnagyobb termést a kedvező vízellátottságú, csapadékos évjáratban kaptuk (ez a jelentős ökológiai szenzibilitását jelzi a növénynek!) mindhárom vetésváltásban (monokultúra 13014 kg/ha, bikultúra 12599 kg/ha, trikultúra 12795 kg/ha). Kedvező vízellátás esetén a vetésváltás közötti különbségek megszűntek. (A monokultúrás kísérletet rendkívül intenzív növényvédelem mellett tudjuk fenntartani.) Átlagos évjáratban már megjelentek a vetésváltások közötti különbségek relatíve kedvező termésszinten (10,6–12,3 t/ha), de a legnagyobb problémát az évjáratok 35%-át képviselő aszályos évjáratban lehetett tapasztalni a vetésváltási rendszerek között (mono 5,0 t/ha, bi 8,2 t/ha, tri 7,6 t/ha). Az

évjáratok vízellátottsága alapvetően meghatározta a kijuttatott műtrágyák érvényesülését, hatékonyságát. Aszályos évjáratban a kukorica műtrágyázási terméstöbblete rendkívül mérsékelt volt (0,9–1,3 t/ha), míg kedvező vízellátottságú évjáratokban lényegesen kedvezőbb termésnövekedést mértünk (átlagos évjáratban 2,0–4,6 t/ha, csapadékos évjáratban 2,3–5,5 t/ha). A rendkívül nagy tápanyagigényű kukorica monokultúrás termesztése a talaj tápanyagkészletének csökkenését eredményezte (a kontroll kezelésben 2,0–3,5 t/ha-ral kisebb termés a bi- és trikultúrához képest), illetve ennek következtében lényegesen nagyobb volt a műtrágyázás termésnövelő hatása monokultúrában mindhárom évjárat típusban (1,3 t/ha, 4,6 t/ha, illetve 5,5 t/ha) a bi- és trikultúra vetésváltáshoz képest (4. táblázat).

4. táblázat. Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása a kukorica termésére (Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2015)

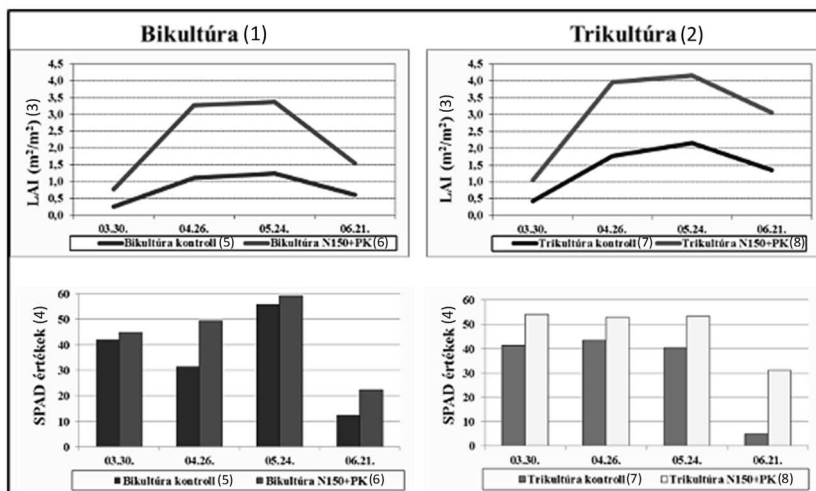
Mtr. kezelés (1)	Termés (kg/ha)					
	(2)					
	Aszályos (13 év, 35%) (3)		Átlagos (18 év, 49%) (4)		Csapadékos (6 év, 16%) (5)	
	Monokultúra (6)					
Kontroll (7)	3743	1315	6061	4580	7538	5476
N _{opt} +PK 180–240 (8)	5058		10641		13014	
	Bikultúra (9)					
Kontroll (7)	7279	924	9505	2829	10208	2319
N _{opt} +PK 120–180 (8)	8203		12334		12599	
	Trikultúra (10)					
Kontroll (7)	6708	891	9839	2041	10221	2574
N _{opt} +PK 60–120 (8)	7599		11880		12795	

Megjegyzés: N_{opt} kg/ha Mono: N = 180–240, Bi: N = 120–180, Tri: N = 60–120.

Table 4. Effect of crop rotation, crop year, fertilisation on maize yield (Debrecen, chernozem soil, non-irrigated, 1986–2015). (1) Fertiliser treatment, (2) Yield (kg ha⁻¹), (3) Dry crop years (13 years, 35%), (4) Average crop years (18 years, 49%), (5) Wet crop years (6 years, 16%), (6) Monoculture, (7) Control, (8) N_{opt}+PK, (9) Biculture, (10) Triculture. Note: N_{opt} kg ha⁻¹ Mono: N = 180–240, Bi: N = 120–180, Tri: N = 60–120.

Tartamkísérleteinkben alapvető célunk az, hogy a különböző kezeléseknek a termésmennyiségre, termésminőségre gyakorolt hatását ne „csak” meghatározzuk (ez is rendkívül fontos, mert számszerű, egzakt eredményekkel rendelkezünk), hanem a változások, a folyamatok ok-okozati összefüggéseit is feltárjuk ezzel is megteremtve a vegetációs periódusban a lehetséges agrotechnikai beavatkozások szakmai alapjait. Ebből a szempontból kiemelkedően fontos szerepet játszanak az in situ, non-destruktív növényfiziológiai műszeres mérések. Ezek alapvetően a növényállományok fotoszintetikus kapacitásának (levélterület=LAI, relatív klorofilltartalom=SPAD), illetve annak dinamikai változásának a meghatározására irányulnak. Őszi búza tartamkísérletben a különböző évjáratokban jelentős különbséget lehetett megállapítani, mind a LAI értékek, mind a SPAD értékek dinamikájában, valamint azok maximális értékeiben vetésváltástól és döntően a trágyázástól függően (5. ábra).

5. ábra. A vetésváltás és a trágyázás hatása a búza levélterület index (LAI) értékeire és relatív klorofilltartalmára (SPAD értékek)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2011)



Forrás: Vári és Pepó (2011)

Figure 5. Effect of crop rotation and fertilisation on the leaf area index (LAI) and relative chlorophyll content (SPAD values) of wheat (Debrecen, chernozem soil, 2011). (1) Biculture, (2) Triculture, (3) Leaf Area Index (m² m⁻²), (4) SPAD readings, (5) Biculture control, (6) Biculture N₁₅₀+PK, (7) Triculture control, (8) Triculture N₁₅₀+PK, Source: Vári and Pepó (2011)

A kukorica tartamkísérletben végzett növényfiziológiai mérések (LAI, SPAD) a búzához hasonló tendenciákat mutattak. Jelentős volt a trágyázás és részben a vetésváltás hatása a különböző időpontokban mért kukorica LAI és SPAD értékeire, valamint ezen paraméterek dinamikai változására. A LAI_{max} értéke kukorica monokultúrában $2,2 \text{ m}^2/\text{m}^2$, bikultúrában $3,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$, trikultúrában $4,4 \text{ m}^2/\text{m}^2$ volt az $N_{180}+PK$ műtrágyakezelésben. A relatív klorofilltartalom értékei ($SPAD_{max}$) pedig 55,7, 57,9, valamint 60,3 voltak az eltérő vetésváltások esetében (5. táblázat).

5. táblázat. Trágyázás hatása a kukorica LAI dinamikájára, a LAI_{max} és SPAD értékeire
(Debrecen, csernozjom talaj, 2011)

Vetésváltás (1)	Mtr. (2)	LAI (m^2/m^2)		SPAD értékek (3)	
		07. 08.	09. 12.	07. 08.	09. 12.
Monokultúra (4)	$N_{120}+PK$ $N_{180}+PK$	1,7	0,2	46,9	4,5
		2,1	0,2	51,4	6,7
		2,2	0,5	55,7	11,8
Bikultúra (5)	$N_{120}+PK$ $N_{180}+PK$	2,9	0,7	53,6	7,2
		3,6	0,9	56,9	7,3
		3,5	1,0	57,9	21,6
Trikultúra (6)	$N_{120}+PK$ $N_{180}+PK$	3,9	0,4	58,5	11,0
		4,2	0,6	60,0	11,9
		4,4	0,7	60,3	19,6

Forrás: Vári és Pepó (2011)

Table 5. The effect of fertilization on LAI dynamics, LAI_{max} and SPAD of maize (Debrecen, chernozem soil, 2011). (1) Crop rotation, (2) Fertilisation, (3) SPAD readings, (4) Monoculture, (5) Biculture, (6) Triculture, Source: Vári and Pepó (2011)

A tartamkísérletek hosszú, idősoros eredményeinek felhasználásával számszerűsíteni lehetett az ökológiai (évjárat) és az agrotechnikai tényezők őszi búza és kukorica termésére gyakorolt interaktív, komplex hatását. Vizsgálati eredményeink azt bizonyították, hogy az őszi búza esetében az időjárási tényezők, az évjárat mérsékelt szerepet (4%) játszik a kiváló víz- és

tápanyag-gazdálkodású csernozjom talajon (a talaj rendkívül fontos pufferoló szerepet tölt be a szántóföldi növények víz- és tápanyagellátásában). Az agrotechnikai elemek közül meghatározó jelentőséggel bírt a trágyázás (50%), valamint a vetésváltás (28%). A növényvédelem szerepe (16%) évjáratától függött (száraz évjáratban mérsékelt, csapadékos évjáratban jelentős). Az öntözés (2%) szerepe a búzatermesztésben elhanyagolható jelentőségű (6. ábra).

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

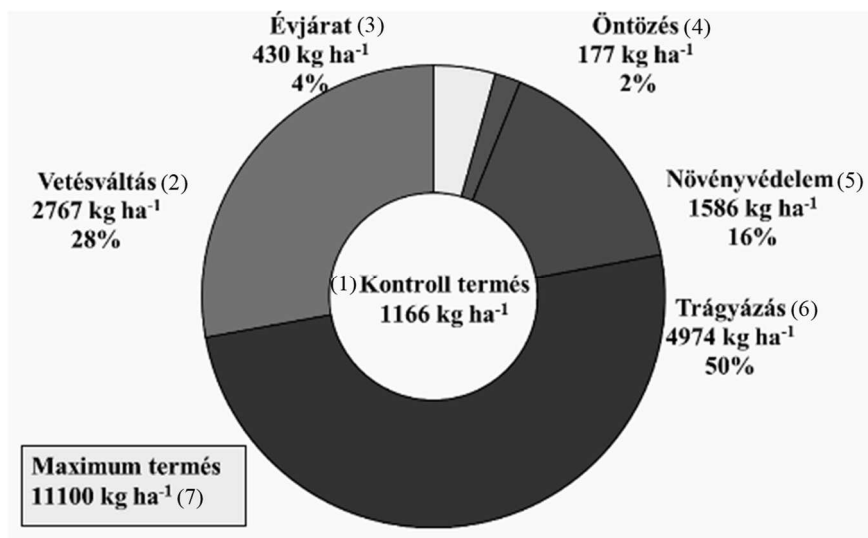


Figure 6. The role of crop year and agrotechnics in wheat production (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Control yield, (2) Crop rotation, (3) Crop year, (4) Irrigation, (5) Crop protection, (6) Fertilisation, (7) Maximum yield

A tartamkísérleteink eredményei jelentősen eltérő hatást bizonyítottak a vizsgált tényezők esetében kukoricánál. Az ökológiai érzékenységet a kukoricának az évjáratthatás megnövekedett (11%) értéke bizonyította. A kukorica esetében még nagyobb volt a tényezők komplex hatásaként kapott minimumtermés (1905 kg/ha) és maximumtermés (15876 kg/ha) közötti különbség (13 t/ha differencia). A kukorica esetében a trágyázás hatása a

termésre 39% volt és ugyancsak jelentős volt a vetésváltás hatása is (28%). Az öntözés (14% hatás) sokkal fontosabb agrotechnikai elem a kukoricánál, mint a búzánál. A tőszám szerényebb mértékű hatása (8%) a korszerű kukorica hibridek változó állománysűrűséggel szembeni jó plaszticitását bizonyította (7. ábra).

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

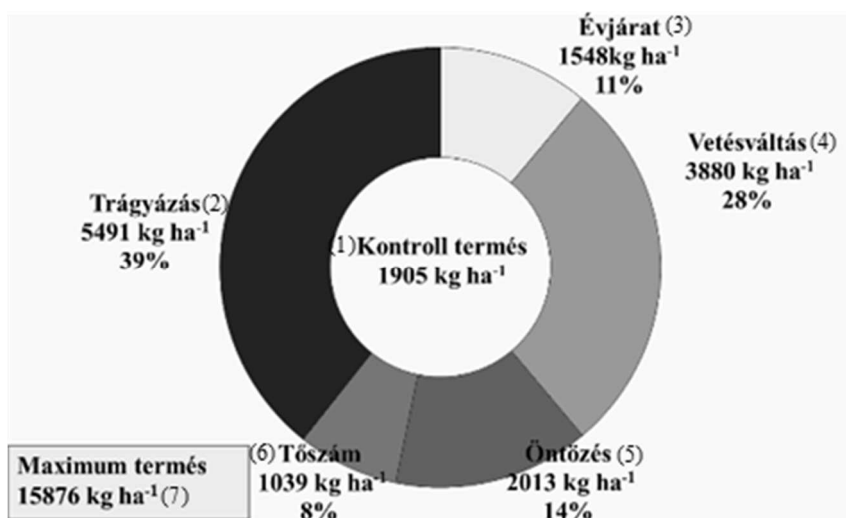


Figure 7. The role of crop year and agrotechnics in maize production (Debrecen, chernozem soil, 2004–2013). (1) Control yield, (2) Crop rotation, (3) Crop year, (4) Irrigation, (5) Crop protection, (6) Fertilisation, (7) Maximum yield

A tartamkísérletek idősoros adatai lehetőséget nyújtanak a trágyakezelések kumulatív terméselemzésére is. Ezzel bizonyítani lehet, hogy a nem megfelelő (optimálisnál kevesebb vagy több) műtrágya mennyiség alkalmazása esetén évtizedek során mennyi termés kiesés következett be, illetve milyen volt a különböző műtrágya adagok hatékonysága. Őszi búza tartamkísérletben, kiváló tulajdonságú csernozjom talajon műtrágya használata nélkül („jó talajon elég, ha nem felejtünk el vetni” mondás mennyire nem igaz!) a 30 év alatt a termés kiesés 53,8 t/ha volt. A különböző műtrágya adagok esetében kapott kumulatív terméstöbblet egymástól nem tért el jelentősebb mértékben, ami

azt jelenti, hogy a búza esetében az $N_{90-120}+PK$ kezelés tekinthető optimálisnak (15,5–16,7 t/ha terméshozam) (8. ábra).

8. ábra. A trágyázási kezelések kumulatív hatása az őszi búza (GK Öthalom) termésére tartamkísérletben (Debrecen, csernozjom talaj, 1986–2015)

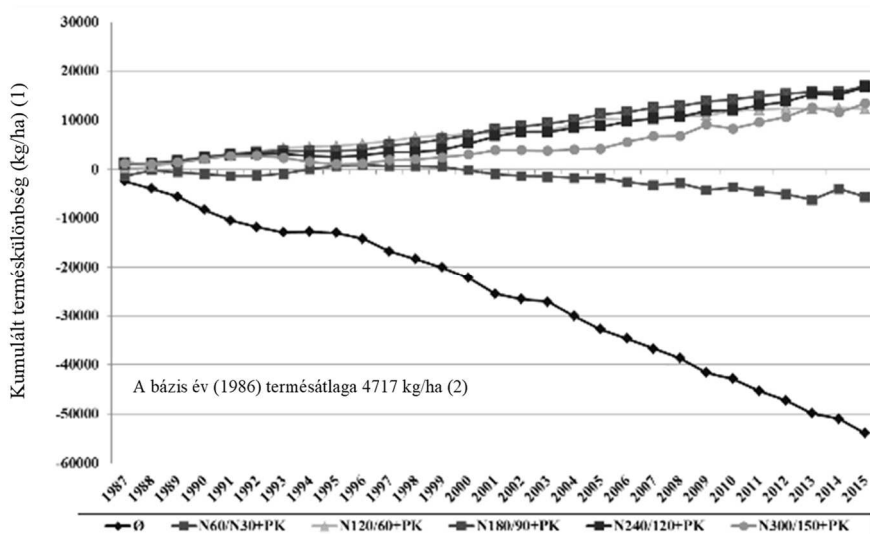


Figure 8. Cumulative effect of fertilisation treatments on the yield of winter wheat (GK Öthalom) in a long-term field experiment (Debrecen, chernozem soil, 1986–2015). (1) Cumulated yield difference (kg ha^{-1}), (2) Average yield of the base year (1986)

A tartamkísérletek különösen alkalmasak a talaj vízháztartási folyamatainak, valamint a növények vízhasznosításának a tanulmányozására. A szántóföldi növények vízháztartása szempontjából a felső 0–200 cm-es talajréteg tekinthető mérvadó talajrétegnek. Ennek a talajrétegnek a vízkészletének dinamikai változását folyamatosan nyomon követjük a tenyészidőszakban, de a vegetációs perióduson kívül is.

Őszi búza tartamkísérletben azt tapasztaltuk, hogy a kalászhányás-virágzás periódusában (májusban) a vízellátottsági hiány befolyásolta a búzafajták maximális termését, a trágyázás terméshozamát. Száraz évjáratban (a VK_{\min} -hez viszonyított vízhiány 255–304 mm előveteménytől függően a 0–200 cm

talajrétegben) a búza fajták maximális termése mindössze 4242 kg/ha volt, a vízhiány miatt a műtrágyák érvényesülése korlátozott volt (795 kg/ha trágyázási terméstöbblet). Átlagos vízellátottságú évjáratban kaptuk a legnagyobb termésmaximumot (8043 kg/ha) és műtrágyázási terméstöbbletet (4020 kg/ha). Csapadékos évjáratban (vízhiány 27–51 mm) mérsékelt termésmaximumot (5539 kg/ha) és műtrágyázási terméstöbbletet (1921 kg/ha) kaptunk a búzafajták korai és erőteljes megdőlése, valamint ennek és az időjárás által indukált kedvezőtlen mikroklimatikus feltételek miatt fellépő levél-, szár- és kalászbetegségek miatt (9. ábra).

9. ábra. A vízhiány változása az őszi búza tenyészidőszakában
(Debrecen, csernozjom talaj, 2003–2011)

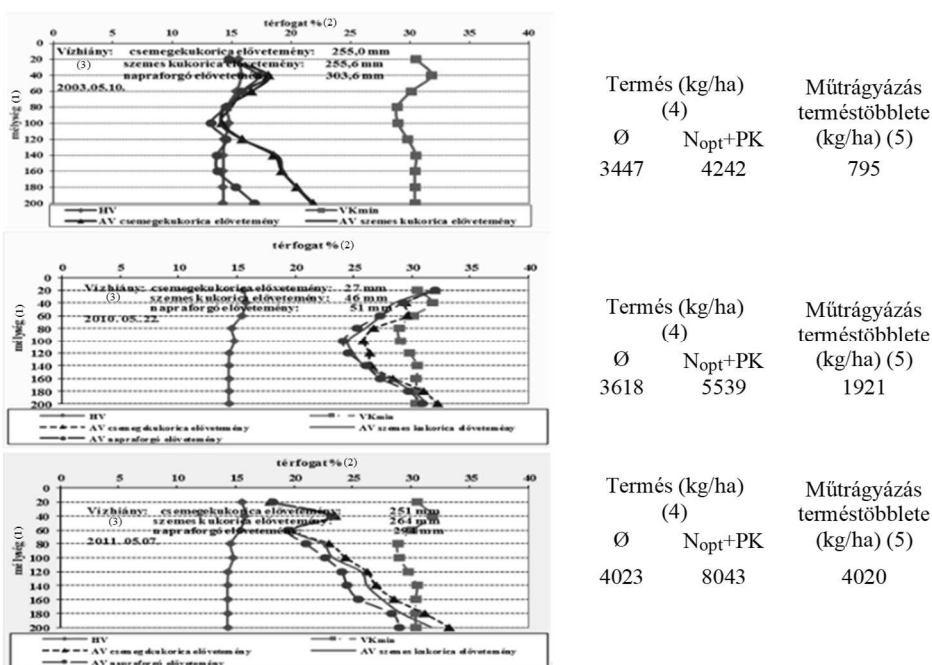


Figure 9. Changes in water deficit during the growing season of winter wheat (Debrecen, chernozem soil, 2003–2011). (1) Depth, (2) Volume %, (3) Water deficit, (4) Yield (kg ha⁻¹), (5) Yield surplus of fertilisation (kg ha⁻¹)

A tartamkísérleti eredmények felhasználásának különlegesen fontos területét jelenti az eltérő intenzitású növényi modellek kialakítása és azok adaptálása eltérő termőhelyi feltételekre, eltérő genotípusokra. Tartamkísérleteink eredményeinek felhasználásával növényi modelleket (extenzív, mérsékelt, átlagos, intenzív) alakítottunk ki és hasonlítottunk össze búzánál és kukoricánál. Az őszi búza modellek elemzése azt bizonyította, hogy kiváló csernozjom talajon nem javasolható a rendkívül mérsékelt termésszintek miatt az extenzív (2400 kg/ha) és low-input (4185 kg/ha) technológiai változat alkalmazása. Ezekhez képest igen jelentős termésnövekedés érhető el az évek átlagában (2004–2021. évek) az átlagos (mid-tech) technológia esetében (7771 kg/ha), amely mind agronómiailag, mind ökonómiailag hatékony lehet. Ugyanakkor elemzésünk arra is rámutatott, hogy a technológiai ráfordítások további növelése (intenzív modell) bár termésnövekedést okozott (8634 kg/ha termésszint), a terméskülönbség (863 kg/ha) az átlagos és intenzív modell között olyan mérsékelt, ami megkérdőjelezi annak hatékonyságát (10. ábra).

10. ábra. Technológiai modellek hatása az őszi búza termésére (kg/ha)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2021)

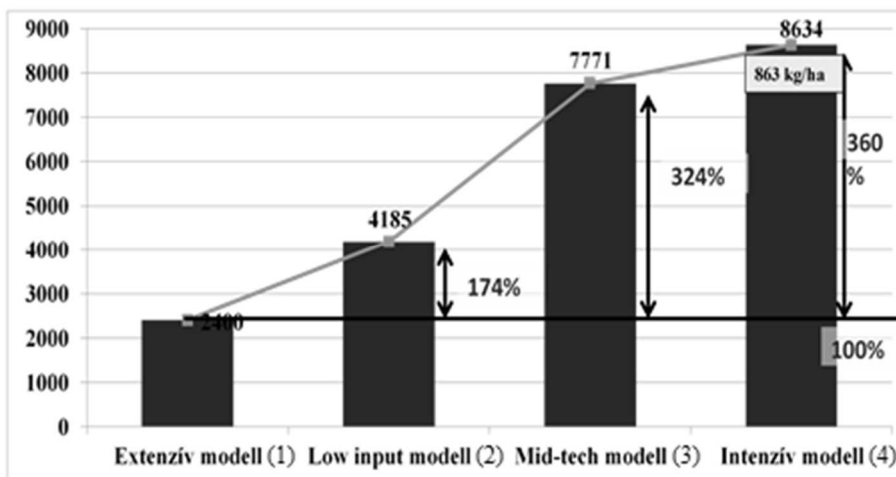


Figure 10. Effect of technological models on winter wheat yield (kg/ha) (Debrecen, chernozem soil, 2004–2021). (1) Extensive model, (2) Low input model, (3) Mid-tech model, (4) Intensive model

Teljesen eltérő eredményeket hozott a csernozjom talajon végzett tartamkísérletünk kukorica esetében. A kukorica kifejezetten intenzív agrotechnikát igénylő növényi kultúra. Ezt bizonyítja, hogy extenzív (6018 kg/ha) és low-input technológia (8014 kg/ha) alkalmazása esetén relatíve alacsony a termésszint (kiváló csernozjom talaj!). Jelentősen megnő a termésszint (11512 kg/ha) az átlagos növényi modell alkalmazása esetén. A kukorica intenzív technológiai igényét bizonyítja, hogy ez a 10 t/ha termésszint – 2004–2021. évek átlagában – az intenzív modell alkalmazásával közel 3 t/ha-ral tovább növelhető (13980 kg/ha) (11. ábra).

11. ábra. Technológiai modellek hatása a kukorica termésére (kg/ha)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2021)

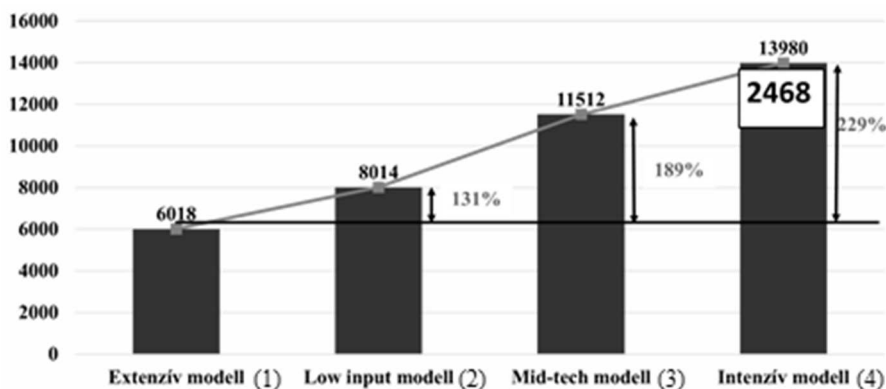


Figure 11. Effect of technological models on maize yield (kg/ha) (Debrecen, chernozem soil, 2004–2021). (1) Extensive model, (2) Low input model, (3) Mid-tech model, (4) Intensive model

IRODALOM

- Árendás T.: 2006. Növénytáplálás új szemlélettel. Gyakorlati Agrofórum. 17. 12M. 8–10.
- Berzsényi Z.–Lap D. Q.: 2005. Műtrágyázás x növényszám interakció hatása a kukorica (*Zea mays* L.) hibridek szemtermésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 54, 1–2: 35–53.
- Berzsényi Z.: 1993. Növekedésanalízis a kukoricatermesztési kutatásokban. MTA Akadémiai doktori értekezés. Martonvásár.

- Blaskó L.*: 1983. Réti talaj Al-oldható Ca és Mg tartalmának változása tartós műtrágyázás hatására. *Növénytermelés*. 32. 4: 539–547.
- Blaskó L.-Zsigrai Gy.*: 2003. A műtrágyázás és mészállapot összefüggései réti csernozjom talajon (Karcag). [In: Blaskó L.-Zsigrai Gy. (szerk.) Műtrágyázás, talajsavanyodás és a meszezés összefüggései az OMTK kísérlethálózat talajain. 2. kiadás.] Karcag – Keszthely. 107–136.
- Bocz E.-Pepó P.-Pepó P.*: 1983. A víz- és tápanyag szerepe a termésminőségben. Őszi búza. *Magyar Mezőgazdaság*. 38. 41: 8.
- Bocz E.-Pepó P.*: 1985. Az őszi búza fajták trágyareakciójának vizsgálata csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 34. 6: 481–493.
- Debreczeni B.-Debreczeni B.-né*: 1983. A tápanyag- és vízellátás kapcsolata. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- D'Haene, K.-Magyar, M.-De Neve, A.-Pálmai, O.-Nagy, J.-Németh, T.-Hofman, G.*: 2007. Nitrogen and phosphorus balances of Hungarian farms. *European Journal of Agronomy*. 3: 224–234.
- Győrffy B.*: 1976. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők értékelése. *Agrártudományi Közlemények*. 35: 239–266.
- Hornok M.-Pepó P.*: 2007. Az őszi búza terméseredményeinek értékelése bikultúra és trikultúra vetésváltásban, hajdúsági csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 56. 5–6: 333–344.
- Izsáki, Z.*: 2007. N and P impact on the yield of maize in a long-term trial. *Cereal Res. Commun.* 35. 4: 1701–1711.
- Jakab, P.-Futó, Z.-Csajbók, J.*: 2005. Analyze of photosynthesis and productivity of maize hybrids in different fertilizer treatment. [In: IV. Alps-Adria Scientific Workshop. Portoroz. Slovenia.] *Cereal Res. Commun.* 33. 1: 205–207.
- Jakab, P.-Masa, N.-Baranyi, A.-Hódiné Szél, M.*: 2019. Effect of different fertiliser doses on the yield and some quality parameters of winter wheat. *Review on Agriculture and Rural Development*. 8. 1–2: 186–191.
- Jakab, P.-Szűcsné Péter, J.-Süli, Á.-Benk, Á.*: 2016. Study of foliar fertilization on the yield, chemical composition and nutrient value of corn. *Lucrări Științifice*. 1. 18: 123–126.
- Jolánkai M.*: 1982. Őszi búzafajták tápanyag- és vízhasznosítása. Doktori (PhD) tézis. Martonvásár.
- Kovacevic, V.*: 2005. Wheat yield variations among the years in the Eastern Croatia. [In: Proceedings of the XI. Croatian Symposium on Agriculture with International Participation. 15–18 February 2005. Opatija. Croatia.] 453–454.
- Körschens, M.*: 2006. The importance of long-term experiments for soil science and environmental research – a review. *Plant Soil Environ. Special issue*. 52: 1–8

- Mengistu, N.-Baenziger, P. S.-Nelson, L. A.-Eskridge, K. M.-Klein, R. N.-Baltensperger, D. D.-Elmore, R. W.:* 2010. Grain yield performance and stability of cultivar blends vs. component cultivars of hard winter wheat in Nebraska. *Crop Science*. 50: 617-623.
- Nagy J.:* 2005. 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában. [In: Nagy J. (szerk.) *Kukoricakonzorcium - Kukorica hibridek adaptációs képessége és terméshozvágya.*] Debrecen. 8-53.
- Pepó P.:* 2000. A minőségi búzatermesztés genetikai alapjai. VI. Növénytermesztési Tudományos Napok. 27.
- Pepó P.:* 2006a. Fejlesztési alternatívák a magyar kukoricatermesztésben. *Gyakorlati Agroforum Extra*. 13: 11-17.
- Pepó P.:* 2006b. Az őszi búza termesztésének helyzete, alternatív fejlesztési lehetőségek [In: Pepó P. (szerk.) *Búzavertikum aktuális kérdései.*] Debrecen. 11-35.
- Pepó, P.:* 2007. Role of fertilization and genotype in sustainable winter wheat (*Triticum aestivum* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 917-920.
- Pepó P.:* 2009a. A kukorica (*Zea mays* L.) termése és növénydőlése száraz és csapadékos évjáratban csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 58. 3-4: 53-66.
- Pepó P.:* 2009b. Az elővetemény és a tápanyagok hatása az őszi búza termésére. *Agroforum*. 20. 9: 14-16.
- Ruzsányi L.:* 1991. A növények elővetemény-hatásának értékelése vízháztartási szempontból. *Növénytermelés*. 40. 1: 71-77.
- Sárvári M.:* 1995. A tőszám szerepe a fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiában. *Növénytermelés*. 44. 3: 261-270.
- Szél E. - Búza Lné - Györi Z.:* 2010. Négy különböző talajtípuson végzett kukorica műtrágyázási kísérletek eredményei. *Növénytermelés*. 59. 4. 41-61.
- Vad, A.-Zsombik, L.-Szabó, A.-Pepó, P.:* 2007. Critical crop management factors in sustainable maize (*Zea mays* L.) production. *Cereal Res. Commun.* 35. 2: 1253-1256.
- Vári E.-Pepó P.:* 2011. Az agrotechnikai tényezők hatása a kukorica agronómiai tulajdonságaira tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 60. 4: 115-130.

A szerző levelezési címe - Address of the author:

Dr. Pepó Péter

DE MÉK Növénytudományi Intézet

Debrecen

Böszörményi út 138.

H-4032

pepopeter@agr.unideb.hu

Talajszkenner adatok alapján lehatárolt menedzsmet zónák NDVI és termés adatainak vizsgálata

¹RÁTONYI TAMÁS - ¹UJPÁL ILONA - ²BÁCSKAI ISTVÁN -

¹HARSÁNYI ENDRE - ¹RAGÁN PÉTER

Debreceni Egyetem

¹Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debrecen

Összefoglalás

Vizsgálatainkat üzemi kukorica 56,3 hektáros kukoricatáblán végeztük Hajdú-Bihar megyében. 2018-ban, ezen vizsgálatok közül a kontakt elven mért elektromos vezetőképességét (EC_a) 0-60 cm (0-2 ft/láb) és a magasság adatokat használtuk fel a talajzónák lehatárolásához. Ezek mellett a 2018. április 30-tól szeptember 14-ig elérhető felhő- és zavaró tényezőtől mentes, hét darab 10×10 méteres térbeli felbontású Sentinel 2 műholdfelvételtől készítettünk NDVI képeket. A numerikus statisztikát R statisztikai program és RStudio grafikus program segítségével készítettük. A talajzónák és a műholdas felvételek időpontjának NDVI értékekre gyakorolt hatásának vizsgálatára ismételt mérési modellt alkottunk.

A táblán belüli talajfoltok nagyban meghatározzák az évjáraton belüli műholdas vegetációs index dinamikát és a termést. A vegetációs index és a termés kapcsolata a tenyészidőszakon belül változik, eredményeink alapján a generatív fázisban mért NDVI értékek voltak a legszorosabb kapcsolatban a hozam adatokkal. A Veris U3 által biztosított elektromos vezetőképesség alapján k-mean klaszterezéssel készített zónák a hozamokban is szignifikánsan különböztek.

Kulcsszavak: üzemi kukorica, Sentinel 2, NDVI, elektromos vezetőképesség, k-mean cluster

Examination of NDVI and yield data of management zones delimited by soil scanner data

¹T. RÁTONYI – ¹I. UJPÁL – ²I. BÁCSKAI – ¹E. HARSÁNYI – ¹P. RAGÁN
University of Debrecen

¹Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

²Institutes for Agricultural Research and Educational Farm, Debrecen

Summary

The examinations were conducted on 56.3 ha of maize field in Hajdú-Bihar county. In 2018, contact electrical conductivity (ECa) 0-60 cm (0–2 ft) and height data to delineate soil zones. In addition, NDVI images were acquired from seven 10×10 m spatial resolution Sentinel 2 satellite images, free of cloud and clutter, available from 30 April to 14 September 2018. Numerical statistics were performed using the statistical software R and graphics software RStudio. A repeated measurement model was created to examine the effect of soil zones and the date satellite imagery were taken on NDVI values.

The soil patches within a plot largely determine the satellite vegetation index dynamics and yield within a given crop year. The relationship between vegetation index and yield varied within the growing season, and the obtained results showed that NDVI values measured during the generative phase were most closely related to yield data. Zones created using k-means clustering based on electrical conductivity provided by Veris U3 also differed significantly in yields.

Keywords: maize, Sentinel 2, NDVI, electrical conductivity, k-mean cluster

Bevezetés

A szántóföldi növénytermesztés kiemelkedő fontosságú szerepet tölt be, nélkülözhetetlen alapja az élelmezésnek, így a létezésünk egyik forrása is. A gabonafélék, köztük a kukorica, a globális élelmezésbiztonság biztosításának legfontosabb pillérét jelentik. A népességnövekedéshez való felzárkózás érdekében a növénytermesztésnek 2050-re nagyjából 70%-kal kell növekednie

(Mark és Peter 2010). Magyarország összterülete 9,3 millió hektár, ebből 4,1 millió hektár szántó. Hazánkban a legmeghatározóbb szántóföldi kultúra a kukorica (*Zea mays* L.) (Ruzsányi 1992, Nagy 1993, 1997, 2005, 2007), mely termesztése nagymértékben függ az éghajlattól (Nagy és Huzsvai 1995). Az éghajlatváltozás mezőgazdaságra gyakorolt hatása a kutatók, a nemzeti kormányok és a politikai döntéshozók számára a legnagyobb aggodalomra okot adó kérdéssé vált (Alcamo et al. 2007, Qingfeng et al. 2016). Napjaink legnagyobb problémája a klímaváltozás, melynek következtében évről évre kevesebb a csapadék hazánkban (Huzsvai et al. 2020). Ez a fokozódó szárazság súlyos károkat okoz a mezőgazdaságban, legfőképp a növénytermesztésben, melynek negatív hatást az idei évi aszály bizonyítja a leginkább (Torriani et al. 2007). Ilyen mértékű szárazságra és csapadékhiányra több évtizede nem volt példa. A mezőgazdasági termelés növekedésének egy sor olyan korláttal kell megküzdenie, amelyeket a globális környezetben az elkövetkező évtizedekben várhatóan bekövetkező változások okoznak (Ványiné Széles 2008, 2009, 2010; Yinhong et al. 2014, Juhász et al. 2020). A termés hozam csökkenésének hosszú távú hatásai rendkívül fontosak az élelmezésbiztonság és a társadalmi-gazdasági stabilitás szempontjából (Széles et al. 2019). Becslések szerint a kukorica mezőgazdasági termelésében (valamint a búzában és az árpában) az éghajlatváltozás által okozott globális gazdasági veszteségek már most is magasak, évente mintegy 5 milliárd USD. Ezek a költségek a változó éghajlat hatására várhatóan jelentősen emelkedni fognak az elkövetkező évtizedekben (Nagy et al. 2006, Ramirez et al. 2017).

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat 56,3 hektáros üzemi kukoricatáblán végeztük, Hajdú-Bihar megyében. A vetett hibrid Armagnac (FAO 490) volt, 75 ezer/hektár tőszámmal, a vetéssel egy menetben történt a starter műtrágya szórása, melynek típusa YaraMila NPK 16-27-7 volt 2018. 04. 23-án. A táblán Veris U3 típusú talajszkennerrel végeztünk talajvizsgálatokat 2018-ban, ezen vizsgálatok közül a kontakt elven mért elektromos vezetőképességét (EC_a) 0–60 cm (0–2 ft/láb) és a magasság adatokat használtuk fel a talajzónák lehatárolásához. A vizsgált szántóföldi tábláról 2018. április 30-tól szeptember 14-ig elérhető felhő- és zavaró tényezőtől mentes, hét darab 10×10 méteres térbeli felbontású Sentinel 2 műholdfelvételtől készítettünk növényi vegetációs index (NDVI) képeket.

Az NDVI kiszámítása a Sentinel 2 műhold csatornák értékei alapján történt:

$NDVI = (NIR-Red)/(NIR+Red)$,
ami Sentinel 2 műholdfelvétel esetében: $(B8-B4)/(B8+B4)$.

A betakarítást, szemnedvesség mérést és hozam térképezést JD S770i típusú kombájn végezte, nyolcsoros adapterrel 2018. 10. 04-én. Quantum GIS szoftverrel a pontszerű EC és hozamtérkép vektor adatokból és a raszteres Sentinel 2 adatokból 10×10 méter térbeli felbontású vektoros térinformatikai adatbázist készítettünk. A térinformatikai adatbázis adataiból az elektromos vezetőképesség (EC_a) és magasság adatokat felhasználva a *Quantum GIS Development Team* (2022) „*Attribute based clustering*” modulját felhasználva 40x futtatott k-közép (k-mean) eljárással hat csoportot (klasztert) képeztünk a talajadatokból. Ezt az adatbázist alakítottuk át LibreOffice Calc segítségével numerikus statisztikai adatbázissá.

A numerikus statisztikát R statisztikai program (*R Core Team* 2022) és RStudio grafikus felület (*RStudio Team* 2022) segítségével készítettük. A talajzónák és a műholdas felvételek időpontjának az NDVI értékekre gyakorolt hatását ismételt mérési modellel értékeltük, *Huzsvai* és *Balogh* (2015) példája alapján. Az ismételt mérési modell példa kódja R statisztikai környezetben:

```
modell<-  
aov(NDVI_értékek~talajzóna*felvétel_időpont+Error(egyedi_poligon_azonosító  
/felvétel_időpont), data=forrás_adatbázis))  
summary (modell)
```

Az NDVI értékek középérték összehasonlítását legkisebb szignifikáns különbség (LSD) módszerével végeztük, amelyben meghatároztuk a legkisebb szignifikáns differenciát. R statisztikai környezetben az ismételt mérési modell, post hoc tesztjéhez a szabadsági fokokat (df) és a négyzetösszeg hibákat (mse) egyedileg lehet definiálni, melyet a következő kóddal végeztük (*Huzsvai* és *Balogh* 2015):

```
df=df.residual(modell$"hiba:hiba")
mse=deviance(modell$"hiba:hiba")/df
LSD <- with(adatbázis, LSD.test(függő_változó, modellből_a_szignifikáns_hatás,
df, mse, console = T))
```

Lineáris regresszióanalízist végeztünk az NDVI értékek és a betakarítógép adatok kapcsolatának vizsgálatára, melynek kódja az R statisztikai környezetben a következő:

```
model <- with(database, lm(NDVI ~ harvester_data))
summary(model)
anova(model)
```

Eredmények

Klaszter analízis és termés

Az ECa (mS/m) és domborzat (m) adatok felhasználásával lehatárolt klasztereket az *1. ábra* mutatja be. Ezeket a talajzónákat használtuk fel a hagyományos numerikus statisztikai elemzéseknél. A zónák betűsorrendje az algoritmus működése miatt megtalálási sorrendben van.

A klaszterezett adatbázis termés adatokkal ábrázolva már bemutatja a tábla heterogenitását. A *2. ábrán* megfigyelhető a táblára jellemző alacsonytermésű alacsonyan fekvő belvizesedésre hajlamos terület, ami a klaszter analízis alapján az „F” zóna. A táblán belül a legnagyobb hozammal rendelkező talajzónán átlagosan 10,3 t/ha kukoricát szemtermést takarítottunk be.

Numerikus statisztikával vizsgálva a talajzónák egyértelműen befolyásolták a kukorica termését. A tábla legnagyobb termését 12,34 t/ha a „D” talajzónában figyeltük meg, ettől 310 kg /ha-ral maradt el a „B” talajzóna termése. 11 t/ha felett teljesített az „A” talajzóna is. Az „E” zóna 9,02 t/ha, az „F” zóna pedig 6,98 t/ha szemtermést biztosított. A „C” zóna termése mindösszesen 0,7 t/ha volt (*3. ábra*).

1. ábra. A vizsgált tábla EC és domborzat alapján klaszterezett térképe

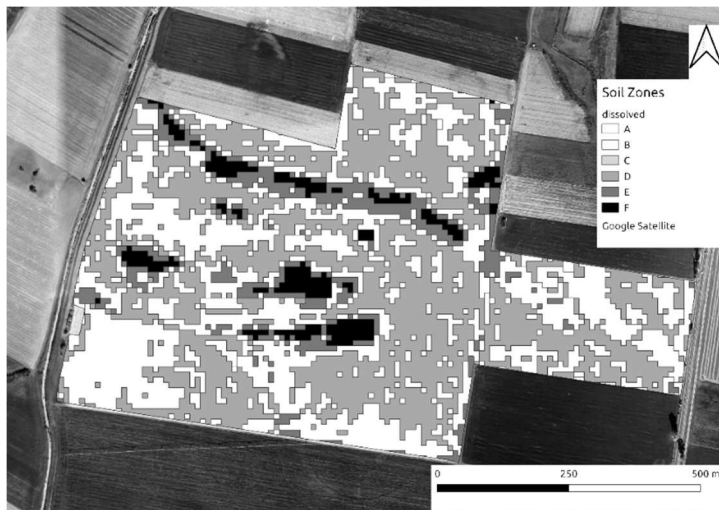


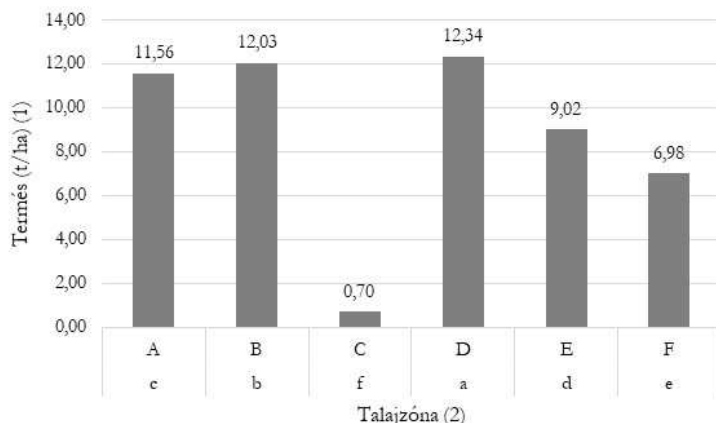
Figure 1. Map of the examined plot clustered by EC and topography

2. ábra. A vizsgált tábla klaszterezetten ábrázolt hozamtérképe



Figure 2. Clustered yield map of the examined plot

3. ábra. A talajzóna hatása a kukorica szemtermésére

Figure 3. Effect of the soil zone on maize grain yield. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Soil zones

Sentinel 2 NDVI dinamika vizsgálat

A műholdas NDVI dinamika numerikus statisztikai vizsgálata során a talajzónák statisztikailag igazolhatóan befolyásolták a vegetációs index értékeit. A vizsgált időszakban a „C” és „D” talajzóna között nem volt szignifikáns különbség, ezekben a talajzónákban mértük a nagyobb NDVI értékeket. Az „A” és „D” talajzóna NDVI értékei között sem volt statisztikai különbség. A vizsgált időszakban az F talajzóna mellett mértük a legkisebb NDVI értékeket (4. ábra).

Vizsgáltuk a felvétel vegetációs perióduson belüli időpontjának hatását is a Sentinel 2 alapú NDVI értékekre (5. ábra). A vetés utáni első, április 30-ai időpont megmutatja az elmunkált magágy NDVI értékeit, melyek szignifikánsan kisebbek voltak az összes többi időpont értékeitől. A kelés után a kisméretű növényállomány már megfigyelhető volt a Sentinel 2 műholdról is, hiszen ez már szignifikánsan különbözött az áprilisi időponttól. A következő július 4-ei felvételen figyeltük meg statisztikailag igazolhatóan a legnagyobb NDVI értéket (0,801) a vizsgálat időszakában. A következő időpontban, augusztus 5-én már enyhén, de szignifikánsan csökkent a kukorica állomány NDVI értéke (0,780). Augusztus 23-ai időpontban jelentős mértékben, -0,271 értékkel csökkent az állomány NDVI értéke. A kukorica állomány száradásával a következő időpontokra statisztikailag igazolható módon csökkent az NDVI. Az utolsó,

szeptember 14-ei vizsgálati időpontban a vizsgálati időszak második legkisebb NDVI értékeit figyeltük meg.

4. ábra. A talajzóna hatása a Sentinel 2 alapú NDVI értékekre

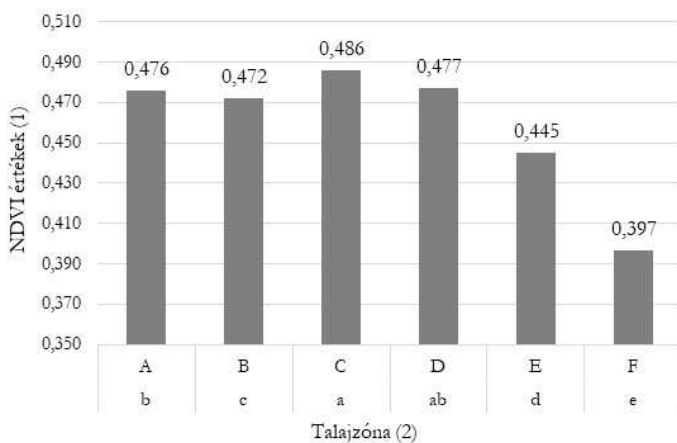


Figure 4. Impact of soil zone on Sentinel 2 based NDVI values. (1) NDVI values, (2) Soil zones

5. ábra. A felvétel időpontjának hatása a Sentinel 2 alapú NDVI értékekre

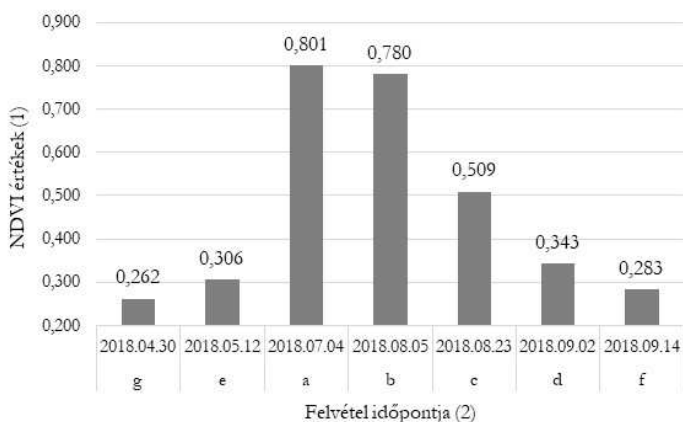


Figure 5. Effect of the date of images on the Sentinel 2-based NDVI values. (1) NDVI values, (2) Date of images

A talajzóna és a vizsgálat időpontja együttesen is befolyásolták a kukorica állomány NDVI értékeit. A vetés utáni első mérési időpontban a „C” talajzóna mutatott kiugró NDVI értéket (0,517), ebben az időpontban, a többi talajzónában 0,3 alatt maradtak az NDVI értékek a legkisebb NDVI érték az „F” talajzónában volt (0,227). A „B” és „E” talajzóna között nem volt statisztikailag kimutatható különbség. Azonban ezek különböztek ebben az időpontban az összes többi zónától.

A május 12-ei időpontban is kiugró mértékű volt a „C” talajzóna NDVI tekintetében. A többi talajzóna 0,35 NDVI érték alatt maradt, és ebben az időpontban is az „F” talajzóna mellett voltak kisebbek az NDVI értékek.

A kukoricavirágzás előtti július 4-ei időpontban a korábbi trend megfordult, ebben az időpontban a „C” talajzóna mellett voltak szignifikánsan a legkisebbek az NDVI értékek. Ebben az időpontban a vizsgált periódus statisztikailag legnagyobb NDVI értékeket az egymástól nem különböző „B” és „D” talajzónában mértük. Az előző időponthoz képest az „F” zóna NDVI értéke 0,477-el, azaz 285%-kal növekedett. Ebben az időpontban a másik nagy NDVI értékkel rendelkező talajzóna az „A” volt.

A szemtelítődés idejében augusztus 5-ei időpontra a „C” talajzóna NDVI értékei stagnáltak, azonban az összes többi talajzóna NDVI értékei pedig csökkentek. Ebben az időpontban a „D” talajzóna NDVI értékei voltak a legnagyobbak, ezt követte a „B” talajzóna, majd az „A” talajzóna. Ebben az időpontban az „F” talajzóna NDVI értékei voltak kisebbek.

Az augusztus 23-ai időpont minden talajzóna NDVI értéke statisztikailag igazolhatóan csökkent az előző időponthoz képest. A legnagyobb mértékű csökkenést a „B” talajzóna mutatta, a legkisebb mértékben a „C” talajzóna NDVI értékei csökkentek. Ebben az időpontban a „D” talajzóna NDVI értékei voltak a legnagyobbak, ezt követte az „A” majd a „B” zóna. A legkisebb NDVI értékeket ebben az időpontban az „F” talajzónában mértük.

A szeptember 2-ai időpontra a kukorica növényállomány száradásával szignifikánsan tovább csökkentek az NDVI értékek minden talajzónában. Ebben az időpontban az „A”, „C” és „D” talajzóna között nem volt szignifikáns különbség, ettől szignifikánsan kevesebb NDVI értéket figyeltünk meg a „B” és „E” zóna esetében. A szeptember 2-ai időpontban a legkisebb NDVI értéke az „F” zónának volt.

A vizsgálat utolsó, szeptember 14-ei időpontjában a „C” talajzóna stagnált így ebben mértük a nagyobb NDVI értékeket, azonban a többi talajzóna kukoricaállománya tovább száradt. Az időpont második legnagyobb NDVI értékét az „A” talajzóna mellett figyeltük meg. A következő „D” és „E” talajzóna között nem volt szignifikáns különbség, ebben az időpontban a legkisebb NDVI értéket az „F” talajzóna mellett figyeltük meg (6. ábra).

NDVI – hozam összefüggés

Vizsgáltuk a kukorica állomány műholdas NDVI értékeinek és hozamának összefüggéseit. Az összes időpontot együttesen vizsgálva az NDVI értékek és a hozam adatok között igen gyenge kapcsolat volt ($r=0,05$). Az egyes időpontokban mért NDVI értékek eltérő mértékben függtek össze a kukorica termésével. Az április és májusi időpontokban a kisméretű növényállomány miatti nagy talajhatás miatt közepesen gyenge ($r=0,43$ és $r=0,38$) volt a kapcsolat a Sentinel 2 NDVI értékek és a hozam adatok között. A virágzás előtti július 4-ei időpont közepesen szoros ($r=0,67$) kapcsolatban volt a kombájn által mért hozam adatokkal.

A szemtelítődésben, augusztus 5-ei időpontban mért NDVI érték nagyon szoros kapcsolatban ($r=0,78$) volt a kukorica termésével, az NDVI adatok 60,4%-ban befolyásolták a hozam adatokat. A kukorica állomány száradásával a műholdas NDVI és hozam kapcsolata gyengült, az augusztus 23-ai NDVI értékek már csak közepes ($r=0,53$) kapcsolatban voltak a terméseredményekkel. Ez a kapcsolat a szeptember 2-ai időpontra tovább gyengült ($r=0,24$), majd az utolsó vizsgálati időpontra enyhén növekedett a gyenge ($r=0,27$) kapcsolat (1. táblázat).

A termékkel legszorosabb augusztus 5-ei NDVI adatokból eloszlástérképet készítettünk, azaz képpontonként (pixel) ábrázoltuk a tábla átlagos NDVI értéktől történő eltérést százalékos formában. Ezen a térképen a világosabb színnel jelöltük a tábla átlagtól kisebb NDVI értékeket. Megfigyelhető a tábla északi részén elhelyezkedő kis NDVI értékekkel rendelkező eltemetett folyómeder, illetve a tábla közepén két gyenge talajfolt, ami belvizesedésre hajlamos. A sötétebb színnel jelölt nagy NDVI értékű foltok, amelyek a tábla dél és délkeleti részén helyezkednek el (7. ábra).

6. ábra. A talajzóna és felvétel időpontjának hatása a Sentinel 2 NDVI értékekre

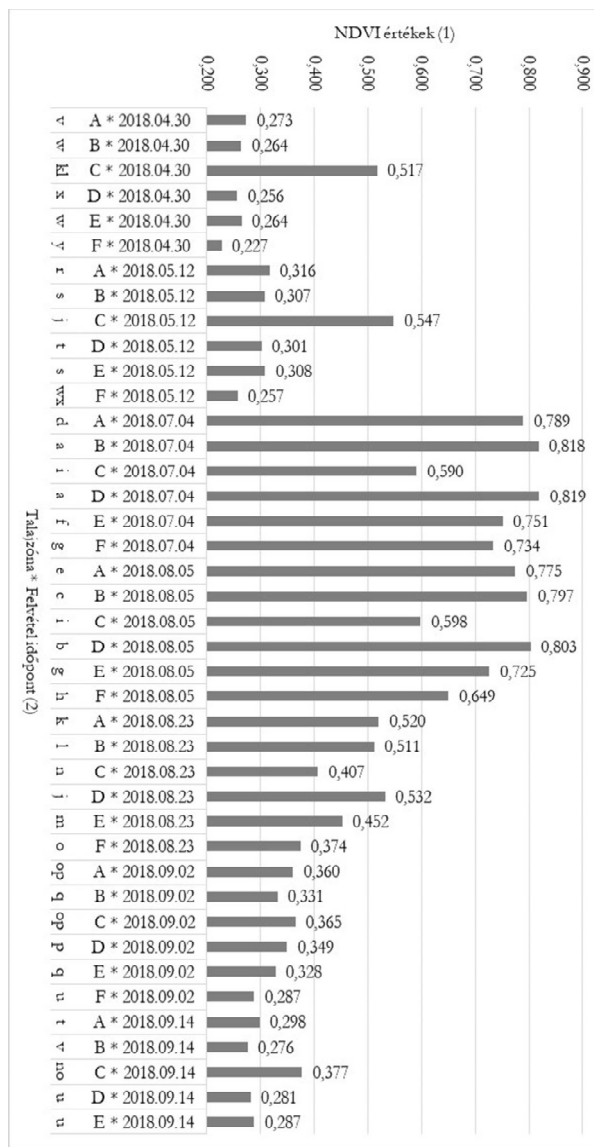


Figure 6. Effect of soil zone and date of images on Sentinel 2 NDVI values. (1) NDVI values, (2) Soil zone * Date of images

1. táblázat. A Sentinel 2 NDVI és a kombájn által mért kukorica termés kapcsolata

Dátum (1)	r	r ²	r ² %	Szignifikancia (2)
2018. 04. 30.	0,43	0,19	18,62	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 05. 12.	0,38	0,15	14,56	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 07. 04.	0,67	0,44	44,41	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 08. 05.	0,78	0,60	60,38	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 08. 23.	0,53	0,28	28,11	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 09. 02.	0,24	0,06	5,69	<2*10 ⁻¹⁶ ***
2018. 09. 14.	0,27	0,07	7,33	<2*10 ⁻¹⁶ ***

Table 1. Relationship between Sentinel 2 NDVI and maize yield measured by combine harvester.
 (1) Date, (2) Significance

7. ábra. A hozammal legszorosabb kapcsolatban levő 2018. 08. 05.
 Sentinel 2 NDVI felvétel

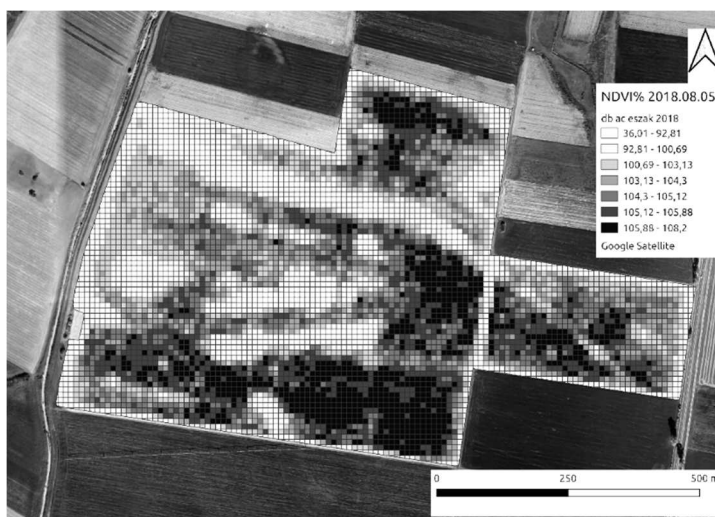


Figure 7. Sentinel 2 NDVI image taken on 05/08/2018. in the closest correlation with yield

Következtetések

A táblán belüli talajfoltok nagyban meghatározzák az évjáraton belüli műholdas vegetációs index dinamikát és a termést. A vegetációs index és a termés kapcsolata a tenyészidőszakon belül változik, és eredményeink alapján a generatív fázisban mért NDVI értékek voltak a legszorosabb kapcsolatban a hozam adatokkal. A Veris U3 talajszkenner által biztosított elektromos vezetőképesség értékek alapján k-mean klaszterezéssel készített zónák a hozamokban is szignifikánsan különböztek.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Alcamo, J.–Moreno, J. M.–Nováky, B.–Bindi, M.–Corobov, R.–Devoy, R. J. N.–Giannakopoulos, C.–Martin, E.–Olesen, J. E.–Shvidenko, A.*: 2007. Europe. Climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. [In: Parry, M. L. et al. (eds.) Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.] Cambridge University Press. Cambridge. UK. 541–580.
- Huzsvai L.–Balogh P.*: 2015. Lineáris modellek az R-ben. Seneca Books. Debrecen. 109–124.
- Huzsvai, L.–Zsembeli, J.–Kovács, E.–Juhász, Cs.*: 2020. Can technological development compensate for the unfavorable impacts of climate change? Conclusions from 50 years of maize (*Zea mays* L.) production in Hungary. Atmosphere. ISSN 2073-4433. <https://doi.org/10.3390/atmos11121350>
- Juhász, Cs.–Gályi, B.–Kovács, E.–Nagy, A.–Tamás, J.–Huzsvai, L.*: 2020. Seasonal predictability of weather and crop yield in regions of Central European continental climate. Computers and electronics in agriculture. Volume 173. June 2020. 105400. ISSN 0168-1699. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105400>
- Mark, T.–Peter, L.*: 2010. Breeding technologies to increase crop production in changing world. Science. 327: 818–822.

- Nagy, J.*: 1993. Evaluation on the effect of crop production factors on the yield of maize in long-term experiments. Rothamsted 150th Anniversary Conference. Rothamsted. 136-137.
- Nagy J.*: 1997. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélküli és öntözéses termesztésben. *Agrokémia és Talajtan*. 46. 1-4: 275-288.
- Nagy J.*: 2005. 30 év a kukoricakutatás és fejlesztés szolgálatában. [In: Nagy J. (szerk.) *Kukoricahibridek adaptációs képessége és terméshibridizációja.*] Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 8-53.
- Nagy J.*: 2007. *Kukoricatermesztés.* Akadémiai Kiadó. Budapest. 42-276.
- Nagy J.-Huzsvai L.*: 1995. Az évjárat hatás értékelése a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Növénytermelés*. 44. 4: 385-393.
- Nagy J.-Rátonyi T.-Megyes A.-Huzsvai L.*: 2006. A termesztési tényezők hatása a csernozjomtalaj fizikai állapotára kukorica tartamkísérletben. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen.
- Qingfeng, M.-Xinping, C.-David, B. L.-Zhenling, C.-Yi, Z.-Haishung, Y.-Fusuo, Z.*: 2016. Growing sensitivity of maize to water scarcity under climate change. *Sci. Rep.* 6. 19605: 1-7.
- Quantum GIS Development Team.*: 2022. Quantum GIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>
- Ramirez, C.-Lalit, K.-Farzin, S.*: 2017. Global alterations in areas of suitability for maize production from climate change and using a mechanistic species distribution model (CLIMEX). *Sci. Rep.* 7. 5910: 1-13.
- R Core Team.*: 2022. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- RStudio Team.*: 2022. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston, MA. <http://www.rstudio.com/>
- Ruzsányi L.*: 1992. A főbb növénytermesztési tényezők és a vízellátás kölcsönhatásai. Akadémiai doktori értekezés tézisei. Debrecen.
- Széles, A.-Nagy, J.-Rátonyi, T.-Harsányi, E.*: 2019. Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. *Maydica*. 64. 2: 1-14.
- Torriani, D.-Calanca, P.-Lips, M.-Amman, H.-Beniston, M.-Fuhrer, J.*: 2007. Regional assessment of climate change impacts on maize productivity and associated production risk in Switzerland. *Region. Environ. Change*. 7: 209-221.
- Ványiné Széles A.*: 2008. SPAD-érték és a kukorica (*Zea mays* L.) termésmennyisége közötti összefüggés elemzése különböző tápanyag és vízellátottsági szinten. Doktori (PhD) értekezés. Debrecen.

- Ványiné Széles A.*: 2009. A kukorica hibridek N-ellátottságának értékelése különböző tápanyag szinteken. [In: Berzsenyi Z. és Árendás T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 2009. október 15. 181-187.
- Ványiné Széles A.*: 2010. A kukorica nitrogén ellátottságának vizsgálata SPAD-érték alapján nem öntözött és öntözött körülmények között. [In: Nagy J. (szerk.) Az öntözésvállalati szintű elemzése.] Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma. Debrecen. 147-161.
- Yinhong, K.-Xiaoyi, M.-Shahbaz, K.*: 2014. Predicting climate change impacts on maize crop productivity and water use efficiency in the loess plateau. *Irrig. Drain.* 63: 394-404.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Dr. Rátonyi Tamás – Ujpál Ilona – Dr. Harsányi Endre – *Dr. Ragán Péter
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út. 138.
4032
*ragan@agr.unideb.hu

Dr. Bácskai István
Debreceni Egyetem
Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság
Debrecen
Böszörményi út. 138.
4032

Öko- és hagyományos technológiával termesztett silókukorica hozamainak összehasonlítása

SIPOS ÁGNES - SZŐKE CSABA - SPITKÓ TAMÁS - KOVÁCS ANETT -
CSEPREGI-HEILMANN ESZTER - PINTÉR JÁNOS - BERZY TAMÁS -
MARTON L. CSABA

Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet, ELKH, Martonvásár

Összefoglalás

20 kukoricahibrid silótermését értékeltük egy háromismétléses kisparcellás kísérletben egy ökológiai területen, és egy ugyanabban a táblában található, vele szomszédos hagyományos művelésű területen két éven át. A hibridek zöldhozama az öko-területen a két év átlagában 36,9 t/ha volt, míg a hagyományos művelésű területen 46,4 t/ha. Az öko-területen mért zöldtermés 20%-kal, szárazanyag- és emészthető szárazanyag termése 15-17%-kal maradt el a hagyományos területen mért terméstől, évjáráttól függetlenül. A különböző FAO éréscsoportba tartozó hibridek eltérő módon reagáltak az ökológiai termesztésre. A korai hibridek nagyobb, a késői hibridek termése kisebb mértékben csökkent az ökológiai területen összehasonlítva a hagyományos termesztési mód terméseivel.

Kulcsszavak: siló kukorica, ökológiai gazdálkodás, hagyományos termesztés, green deal

Yield comparison of maize grown for silage – organic and conventional

Á. SIPOS – CS. SZŐKE – T. SPITKÓ – A. KOVÁCS – E. CSEPREGI-HEILMANN –
J. PINTÉR – T. BERZY – L. CS. MARTON
Agricultural Research Centre
Agricultural Institute, ELKH, Martonvásár

Summary

The silage yield of 20 maize hybrids was evaluated in a three replicate small plot experiment in an organic field and in an adjacent conventional field in the same plot over two years. The green mass yield of the hybrids averaged 36.9 t/ha in the organic field and 46.4 t/ha in the conventional field over the two years. The green mass yield in the organic area was 20% lower and the dry matter and digestible dry matter yields 15-17% lower than in the conventional area, regardless of the crop year. Hybrids of different FAO maturity groups responded differently to organic cultivation. The yield of early hybrids decreased more and the yield of late hybrids decreased less in the organic field compared to the conventional production.

Keywords: silage maize, organic farming, conventional farming, green deal

Bevezetés

A Föld lélekszáma rohamosan növekszik. Míg 1950-ben 2,53 milliárd ember élt a bolygónkon, ma ez a szám 7,97 milliárd. 71 év elteltével háromszorosára növekedett a lakosság száma (KSH 2022). Ebből következően a mezőgazdasági termékek iránti globális kereslet gyorsan emelkedik. Az agrárium intenzívebbé válása azonban szorosan összefügg az üvegházhatású gázok, különösen a dinitrogén-oxid (N₂O) és a metán (CH₄) magas kibocsátásával (*van Beek et al.* 2010). Ennek a drasztikus változásnak nyoma van a Föld klímáján. A szélsőséges éghajlati viszonyok – mint az aszály vagy a hőstressz – az aratás kudarcához vezethetnek, veszélyeztetve ezzel az emberek élelmezésbiztonságát és a

termelők megélhetését. A globális élelmiszerrendszer stabilitása érdekében kulcsfontosságú megérteni a gabonatermeszre hatással lévő extrém időjárási helyzeteket. Az éghajlati tényezők a tenyészidőszakban, beleértve az átlagos klímát és a szélsőségeket is, magyarázatot adnak a globális terméshozam anomáliák eltéréseinek 20–49%-ára. Továbbá a szélsőséges hőmérsékletek erősebben kapcsolódnak a termésingadozáshoz, mint a csapadékkal kapcsolatos változók. Korábbi kutatásokat alátámasztva kimutatták, hogy az öntözés enyhíti a szélsőségesen meleg napok negatív hatásait, ami igazolja a víz rendelkezésre állása és az extrém hőhatások közötti szoros kapcsolatot (*Johnston et al.* 2015, *Vogel et al.* 2019).

Az előrejelzések szerint a kukorica éghajlati alkalmassága csökken a szubszaharai Afrikában és Latin-Amerika régióiban, míg Európa északi részén bővüléssel jár. A jövőbeli kukoricatermesztés szempontjából az éghajlatilag megfelelő területek relatív változását a jelenleg vezető országok esetében becsülték meg. A termés 2050-re várhatóan növekedni fog az USA-ban 8%-kal és Kínában 4%-kal, azonban csökkenni fog Brazíliában 5%-kal, Argentínában 2%-kal, és Mexikóban 11%-kal. Emellett Európában és Ázsiában jelenleg rendszeres alacsony hőmérséklet és belvíz előfordulási gyakorisága várhatóan csökkenni fog. Ezzel szemben az Afrikában előforduló hőstressz és Dél-Amerikában a szárazság előreláthatólag növekedni fog (*Ramirez-Cabral et al.* 2017).

Ezen éghajlati változásokkal lépést tartani az agráriumban, és közben a Földet is óvni kiemelkedő kérdés lett az elmúlt időszakban. A problémák kezelésének érdekében az Európai Bizottság 2019. december 11-én jelentette meg az Európai Zöld Megállapodás (European Green Deal) című közleményt (*EU Jog* 2021). A program fő célja, hogy 2050-re az üvegházhatású gázok kibocsátásának mértéke nettó nullára csökkenjen, amely által a világon elsőként klímasemleges kontinenssé válnánk. Ennek érdekében mind a 27 Uniós tagállam vállalta, hogy 2030-ig legalább 55%-kal csökkenti a kibocsátást az 1990-es szinthez képest. A megállapodás ígér többek között friss levegőt, tiszta vizet, egészséges talajt, biológiai sokféleséget, egészséges és megfizethető élelmiszereket. Mindezek eléréséhez többlépcsős, különböző ágazatokra kiterő rendelkezések szükségesek. Ilyen intézkedés a mezőgazdaság területén az egészséges élelmiszerrendszer kialakítása, amelynek célja az élelmezésbiztonság garantálása, élelmiszerrendszer környezeti és éghajlati lábnyomának csökkentése, élelmiszerrendszer megújulóképeségének erősítése (*Európai*

Bizottság 2021a). A stratégiában meghatározott célok eléréséhez a következő kritériumokat határozták meg (*Európai Bizottság* 2021b):

- A kémiai növényvédő szerek használatának és az azzal járó kockázatok 50%-os, valamint a veszélyesebb növényvédő szerek használatának 50%-os csökkentését 2030-ig.
- A tápanyagveszteség legalább 50%-os csökkentését oly módon, hogy ne csökkenjen a talaj termőképessége. Ezáltal 2030-ig legalább 20%-kal fog csökkenni a műtrágyahasználat.
- Valamint 2030-ig az ökológiai gazdálkodás alá vont területek arányának 25%-ra növelését.

Magyarországon 2018-ban a terület 3,9%-án folyt ökológiai gazdálkodás (*KSH* 2021). Az ökológiai mezőgazdaság előnyeiről és hátrányairól továbbra is széles körben vitatkoznak. Egyesek a fenntartható élelmiszerbiztonsági kihívások megoldásaként népszerűsítik. Ezen hozzáállások szerint az ökológiai mezőgazdaság olyan termelési rendszer, amely fenntartja az ökoszisztéma és az emberek egészségét. Mindezt azért, hogy a biológiai sokféleségnek a folyamataira és ciklusaira támaszkodik a helyi körülményekhez igazodva. Az ökológiai mezőgazdaságra való átállás helyet ad a biodiverzitás számára, akár 40-50%-kal növelve a különböző taxonok jelenlétét. A biogazdálkodás elvének követésével mérsékelni lehet az üvegházhatású gázok kibocsátásának, így a klímaváltozásnak a mértékét. A külső ráfordítások lényegesen csökkennek az ökológiai mezőgazdaságban a szintetikus műtrágyák, peszticidek és adalékanyagok tiltása miatt. A biogazdálkodást a hagyományos mezőgazdaság környezetbarát alternatívájának tartják (*Reganold és Wachter* 2016, *Meng et al.* 2017). Ezzel szemben mások elítélik elmaradottsága miatt. Úgy vélik, a hagyományos mezőgazdaság sokszínűen felhasználja a rendelkezésre álló legjobb technológiai tudást, amelynek végső célja a bőséges élelmiszerellátás a legalacsonyabb áron (*Trewavas* 2001, *Connor* 2008). Jelenetős hátránya az ökológiai mezőgazdaságnak, hogy terméseredményei átlagosan 20%-kal alacsonyabbak (*Ponti De Rijk és Van Ittersum* 2012), így megnehezítik a folyamatosan növekvő populáció igényeinek kielégítését. Továbbá az optimális hozam elérésével csökkenteni lehetne a szántóföldek méretét, visszaállítva a természetes ökoszisztémát (*Seufert és Ramankutty* 2017). Az ökogazdaságban dolgozó gazdák bevétele általában magasabb, mert a kisebb hozamot kompenzálja a magasabb felvásárlási ár.

Kísérletünkben arra a kérdésre kerestük a választ, hogy ökológiai termesztésben milyen mértékű termésdepresszió várható a hagyományos technológiához képest, és a termés csökkenés mértékében van-e különbség a vizsgált hibridek között.

Anyag és módszer

A szántóföldi kísérletet két egymást követő évben (2018–2019) Martonvásáron, az Agrártudományi Kutatóközpont területén végeztük. A terület egy részét 2007-ben ökológiai gazdálkodásra (öko) alkalmasnak minősítették, amelyen semmilyen vegyszert nem használunk. A terület többi részén hagyományos mezőgazdaság folyik, amelyen műtrágya, valamint gyom- és rovarirtó kijuttatása történt. A talajtípus erdőmaradványos csernozjom, tápanyagszolgáltató képessége jó. Ősszel szárazúzást követően a hagyományos helyre 400 kg/ha komplex műtrágyát szórtunk (NPK15-15-15) ki. Ezt tárcsázás és simítózás követte. A kísérlet éveiben tavasszal, vetés előtt 450 kg/ha műtrágyát és 15 kg/ha talajfertőtlenítőt juttattunk ki. Az öko területen csak a talaj és magágy előkészítése történt kompaktossal. A vetést egy napon végeztük 70 000 tő/ha-os tőszámmal. Május elején és június közepén gyomirtót használtunk a hagyományos területeken. Júliusban két alkalommal juttattunk ki rovarirtót. Az öko területen csak mechanikai gyomirtás történt kultivátorral vagy kézi kapálással. A kísérletben 18 Mv nemesítésű és két standard kukorica hibridet vizsgáltunk két termesztéstechnológiát alkalmazva (hagyományos és ökológiai), háromismétléses véletlen blokk elrendezésű szántóföldi kísérletben. A hibridek három különböző éréscsoportba tartoznak: korai (FAO 300–399), közép (FAO 400–499) és kései érésű (FAO 500–599).

A silóhozam becsléséhez a mintanövényeket kézzel vágtuk ki és stabil szecsokázógéppel aprítottuk. A betakarítási idő az öko és hagyományos technológiában egy napon történt.

A kapott parcella adatokból kiszámítottuk a kukorica genotípusok hektáronkénti zöldtermését, hektáronkénti szárazanyagtermését, és a hektáronkénti emészthető szárazanyaghozamát.

Hektáronkénti zöldtermés (GMY, t/ha):

$$\frac{\text{egyedi súly (kg)} \cdot \text{hektáronkénti növényszám}}{1000}$$

Hektáronkénti szárazanyagtermés (DMY, t/ha):

$$\frac{\text{hektáronkénti zöldtermés (GMY, t/ha)} \cdot \text{szárazanyag tartalom (DM, \%)}{100}$$

Hektáronkénti emészthető szárazanyag hozam (DDMY, t/ha):

$$\frac{\text{hektáronkénti szárazanyag termés (DMY, t/ha)} \cdot \text{emészthető szervesanyag (DIGOM, \%)}}{100}$$

Az emészthető szervesanyag (DIGOM, %) meghatározása NIR-készülékkel történt.

Eredmények

Az öko területen a zöldtermés a hibridek és évek átlagában 36,9 t/ha, míg a hagyományos területen mért termésátlag 46,4 t/ha. A bio terület átlag termése 20%-kal volt alacsonyabb a műtrágyázott kezelésekhez képest évjárártól függetlenül (*1. táblázat*).

Az öko területen a szárazanyagtartalommal korrigált termés, azaz a szárazanyagtermés már csak 15%-kal maradt el a műtrágyázott kezeléshez képest az évek átlagában (*1. táblázat*). A csökkenő különbség magyarázata az ökológiai területről származó minták magasabb szárazanyag tartalma. Míg az öko területen betakarított minták szárazanyag tartalma 35,7% volt, addig a műtrágyázott kezelésben a szárazanyag tartalom 33,5% volt. Az emészthető szárazanyagtermés (DDMY) hasonló tendenciát mutatott, az évek átlagában 16%-kal volt kisebb az öko területen, mint a műtrágyázott kezelésben. Megfigyelhető volt kis évjáráthatás is, az első évben nagyobb, (18%), míg a második évben kisebb (14,5%) volt az öko terület termésének az elmaradása (*1. táblázat*).

1. táblázat. A hibridek hektáronkénti zöldhozama (GMY), szárazanyagtermése (DMY), emészthető szárazanyag termése (DDMY) ökológiai (Öko) és hagyományos technológiai (HT) környezetben (t/ha) (Martonvásár, 2018–2019)

Év (1)	GMY		DMY		DDMY	
	Öko	HT	Öko	HT	Öko	HT
2018	36,58	46,03	13,38	16,37	8,71	10,68
2019	37,26	46,85	12,83	14,69	8,41	9,83
Átlag (2)	36,92	46,44	13,11	15,53	8,56	10,26
	SzD _{5%} 1,738		SzD _{5%} 0,65		SzD _{5%} 0,446	

Table 1. Green mass yield per hectare (GMY), dry matter yield (DMY), digestible dry matter yield (DDMY) of hybrids in organic (Eco) and conventional technology (HT) environments (t ha⁻¹) (Martonvásár, 2018–2019). (1) Year, (2) Average

A hibridek silótermése között lényeges különbséget találtunk, bár a Hibrid*Környezet interakció nem volt szignifikáns. Ez azt jelenti, hogy a hibridek hasonló sorrendje alakult ki mindkét környezetben. Ez érthető is, ha belegondolunk abba, hogy évtizedek óta folyik nemesítés a kukorica alkalmazkodó képességének a javítására.

A hibridek adatainak tenyésztő (FAO) csoportonkénti értékelése azonban lényeges összefüggésre irányítja a figyelmet.

A zöld termés mennyisége az öko- és a műtrágyázott kezelésben is nő a tenyésztő hosszának növekedésével. A növekedés mértéke azonban intenzívebb az öko-területen, mint a műtrágyázott területen (1. ábra).

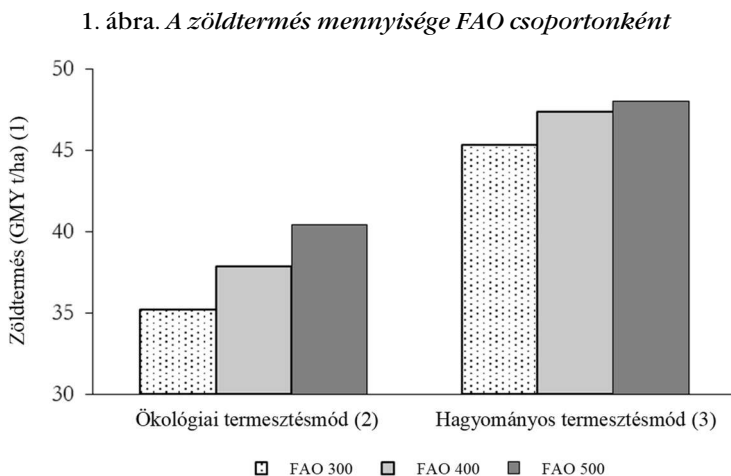


Figure 1. Green mass yield volume by FAO group. (1) Green mass yield (GMY t ha⁻¹), (2) Ecological production, (3) Conventional production

Hasonló tendencia figyelhető meg a szárazanyagtermés és az emészthető szárazanyagtermés adatainak alakulásánál is (2–3. ábra).

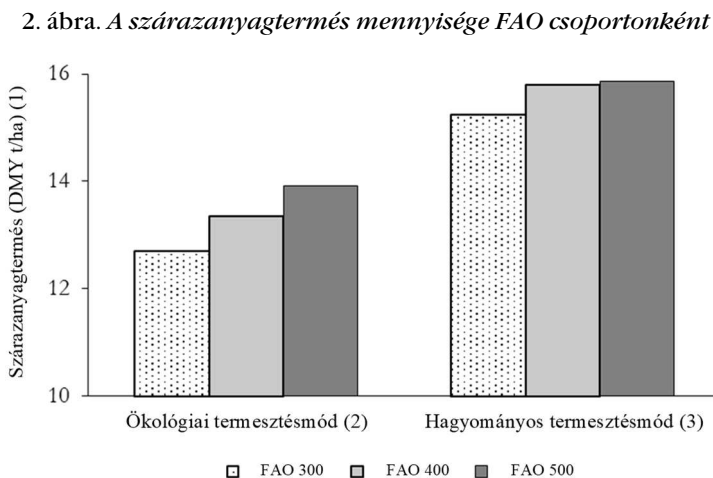


Figure 2. Dry mass yield volume by FAO group. (1) Dry matter yield (DMY t ha⁻¹), (2) Ecological production, (3) Conventional production

3. ábra. Az emészthető szárazanyagtermés mennyisége FAO csoportonként

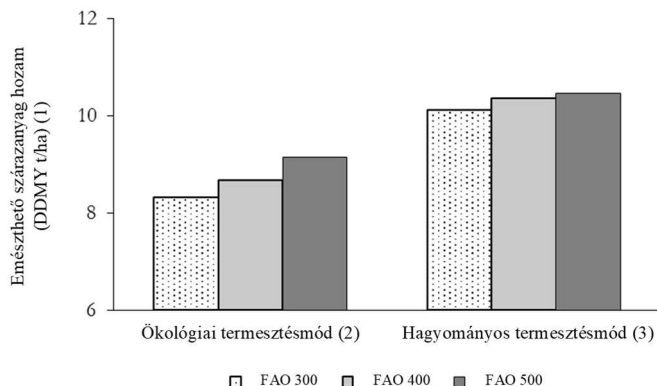


Figure 3. Digestible dry mass yield volume by FAO group. (1) Digestible dry mass yield (DDMY t ha⁻¹), (2) Ecological production, (3) Conventional production

Az öko területen mért termést a műtrágyázott kezelés átlag százalékában kifejezve azt látjuk, hogy a tenyésztő növekedésével csökken az öko termés lemaradása (4. ábra). Adataink azt mutatják, hogy öko termesztésre célszerű a legkésőbbi tenyésztő csoport hibridjeit választani.

4. ábra. Az öko termés elmaradása a hagyományos technológia terméséhez viszonyítva FAO csoportonként (%)

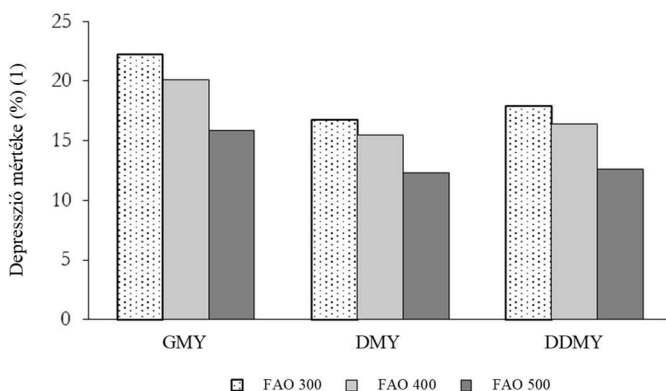


Figure 4. Organic yield below that of conventional technology by FAO group (%). (1) Extent of yield depression (%)

Következtetések

Eredményeink, összhangban a korábbi adatokkal (*Ponti De Rijk és Van Ittersum* 2012) megerősítik, hogy az ökológiai növénytermesztésben, silókukoricánál 15–20%-kal kisebb hozamokra számíthatunk. Csökkenthető a termés lemaradás késői, és igen késői hibridek választásával.

Összegzés

Kísérletünkben 20 kukorica hibrid silótermését értékeltük két termesztéstechnológia mellett (hagyományos és ökológiai). A hibridek három különböző éréscsoportba tartoztak: korai (FAO 300–399), közép (FAO 400–499) és kései érésű (FAO 500–599).

Megállapítottuk, hogy ökológiai növénytermesztésben silókukoricánál a zöldtermés, a szárazanyag- és az emészthető szárazanyagtermés mennyisége 15–20%-kal maradt el a hagyományos technológiában mért terméshez képest. Csökkent a terméslemaradás késői és igen késői hibridek választásával.

IRODALOM

- Beek, C. L. van–Meerburg, B. G.–Schils, R. L. M.–Verhagen, J.–Kuikman, P. J.*: 2010. Feeding the World's Increasing Population While Limiting Climate Change Impacts: Linking N₂O and CH₄ Emissions from Agriculture to Population Growth. *Environmental Science and Policy*. 13. 2: 89–96.
- Connor, D. J.*: 2008. Organic Agriculture Cannot Feed the World. *Field Crops Research*. 106. 2: 187–190.
- EU Jog*: 2021. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/HU/TXT/?qid=1576150542719&uri=COM%3A2019%3A640%3AFIN>
- Európai Bizottság*: 2021a. https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_hu
- Európai Bizottság*: 2021b. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/hu/QANDA_20_885
- Johnston, R. Z.–Sandefur, H. N.–Bandekar, P.–Matlock, M. D.–Haggard, B. E.–Thoma, G.*: 2015. Predicting Changes in Yield and Water Use in the Production of Corn in the United States under Climate Change Scenarios. *Ecological Engineering*. 82: 555–565.

- KSH*: 2021. <https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/okogazd/index.html>
- KSH*: 2022. https://www.ksh.hu/interaktiv/grafikonok/vilag_nepessege.html
- Meng, F.–Yuhui, Q.–Wenliang, W.–Smith, P.–Scott, S.*: 2017. Environmental Impacts and Production Performances of Organic Agriculture in China: A Monetary Valuation. *Journal of Environmental Management*. 188. 2: 49–57.
- Ponti De Rijk, T. B.–Van Ittersum, M. K.*: 2012. The Crop Yield Gap between Organic and Conventional Agriculture. *Agricultural Systems*. 108: 1–9.
- Ramirez-Cabral, N. Y. Z.–Kumar, L.–Shabani, F.*: 2017. Global Alterations in Areas of Suitability for Maize Production from Climate Change and Using a Mechanistic Species Distribution Model (CLIMEX). *Scientific Reports*. 7. 1: 1–13.
- Reganold, J. P.–Wachter, J. M.*: 2016. Organic Agriculture in the Twenty-First Century. *Nature Plants*. 2: 15221.
- Seufert, V.–Ramankutty, N.*: 2017. Many Shades of Gray – the Context-Dependent Performance of Organic Agriculture. *Science Advances*. 3: 3.
- Trewavas, A.*: 2001. Urban Myths of Organic Farming. *Nature*. 410. 6827: 409–410.
- Vogel, E.–Donat, M. G.–Alexander, L. V.–Meinshausen, M.–Deepak, K. R.–Karoly, D.–Meinshausen, N.–Frieler, K.*: 2019. The Effects of Climate Extremes on Global Agricultural Yields. *Environmental Research Letters*. 14: 5.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Sipos Ágnes – Dr. Szőke Csaba – Dr. Spitkó Tamás – Kovács Anett –
Csepregi-Heilmann Eszter – Dr. Pintér János – Dr. Berzy Tamás – *Dr. Marton L. Csaba
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet ELKH
Martonvásár
Brunszzvik út 2.
H-2462
*marton.csaba@atk.hu

A kukorica eltérő fenofázisában mért NDVI értékei és terméskomponensei közötti összefüggés vizsgálata

SPITKÓ TAMÁS - SZŐKE CSABA - SIPOS ÁGNES - KOVÁCS ANETT -
CSEPREGI-HEILMANN ESZTER - PINTÉR JÁNOS - BERZY TAMÁS -
MARTON L. CSABA

Agrártudományi Kutatóközpont

Mezőgazdasági Intézet, ELKH, Martonvásár

Összefoglalás

A termesztett növények esetében, a várható termés előzetes becslése és annak megbízhatósága fontos a betakarításkor meghozott döntések megalapozása érdekében. Az előrejelzés számszerűsítése lehetővé teszi a prognózis megbízhatóságának becslését is. Az év végén várható termés mennyisége összefügg az év során, a vegetáció alatt folyó fotoszintetikus-aktivitás intenzitásával, amennyiben a növény zöldőbb, az asszimiláták előállításának folyamata intenzív, adott fotoszintetikusán aktív levélfelületre vonatkoztatva az előállított szervesanyag-mennyisége és szemekbe építhető anyagok, cukrok és keményítő mennyisége is több lesz. A levelekben található zöld színtestek mennyiségének mérésére korunkban számos eszköz áll rendelkezésre, ezek közé tartozik a kísérletünkben felhasznált NDVI értéket mérő műszer is (GreenSeeker™). Ennek segítségével a fotoszintetikus-aktivitás és a zöld színtestek mennyisége a levelekben könnyen számszerűsíthető, az ebből származó adatok statisztikai elemzés után értékelhetők. Munkánk során arra a kérdésre kerestük a választ, hogy a vegetáció során végzett többszöri mérésből lehetséges-e a termés előre jelzése, és ha igen akkor mennyire tekinthetjük ezt a becslést megbízhatónak. A termés előrejelzése a növény mely fenofázisában válik lehetségessé, a különböző időpontokban mért érték milyen mértékben korrelál a terméssel, ennek a korrelációnak az erőssége hogyan változik a betakarítás közeledtével, erősödik-e vagy

gyengül, és egyáltalán lehetséges-e virágzáskor vagy akár azelőtt a várható termést megbecsülni.

Kulcsszavak: Greenseeker, NDVI érték, terméskomponensek, kukorica

Analysis of the correlation between NDVI values of maize at different phenophases and yield components

T. SPITKÓ - CS. SZŐKE - Á. SIPOS - A. KOVÁCS - E. CSEPREGI-HEILMANN -

J. PINTÉR - T. BERZY - L. CS. MARTON

Agricultural Research Centre

Agricultural Institute, ELKH, Martonvásár

Summary

In the case of cultivated crops, a preliminary estimate of the expected yield and its reliability is important to inform decisions at harvest. Quantifying the forecast also allows the reliability of the forecast to be estimated. The expected yield at the end of the year is related to the intensity of photosynthetic activity during the vegetation period. If the plant is greener, the process of assimilate production is more intensive, the amount of organic matter produced and the amount of substances that can be incorporated into grains, sugars and starch will be higher for a given photosynthetically active leaf area. Several tools are now available to measure the amount of green pigment in leaves, including the NDVI instrument used in our experiments (GreenSeeker™). This allows the photosynthetic activity and the amount of chlorophyll in leaves to be easily quantified and the resulting data can be evaluated after statistical analysis. Our work was aimed at answering the question whether it is possible to predict crop yield from multiple measurements during the vegetation period and, if so, how reliable this estimation can be considered. At which phenophase of the plant does it become possible to predict the yield, to what extent is the value measured at different times correlated with the yield, how does the strength of this correlation change as the harvest approaches, does it strengthen or

weaken, and is it even possible to predict the expected yield at flowering or even before flowering.

Keywords: Greenseeker, NDVI value, yield components, maize

Bevezetés

A termesztett növények várható termésének becslése fontos terület az agronómiai kutatásokban. Egy adott termőterületen a betakarítható termés mennyiségét leginkább az időjárási körülmények, a talaj minősége és tápanyagellátottsága, valamint a haszonnövények genetikai tulajdonságai határozzák meg (Parry és Hawkesford 2010). Már léteznek modellek, amelyek figyelembe veszik az időjárási, tápanyag-ellátottsági és a növények élettani paramétereit a termésmennyiség alakulásának szempontjából (Raun et al. 2001). Fontos azonban megemlíteni, hogy nem csak az egyes paraméterek ismerete lényeges, hanem ezek interakcióit is vizsgálni kell és emiatt elkerülhetetlen a szántóföldi növények teljes állományának megfigyelése, így a növény-növény és növény-környezet interakciók vizsgálata.

A fotometriás állományvizsgálatok őszi búzán már a '70-es évek végétől elkezdődtek (Tucker 1979). Ezek a vizsgálatok is kimutatták, hogy a növények által visszavert és elnyelt fény méréséből lehet következtetni a talajfelszín feletti biomassza mennyiségére és a fotoszintetikus-aktivításra, mivel az elnyelt és a visszavert fény tulajdonságait leginkább a klorofill mennyisége határozza meg. Ezt a speciális közeli infravörös (=700–1300 nm) és látható vörös (=500–700 nm) tartományban mért fényelnyelő és visszaverő képességéből származtatott adatot nevezzük NDVI értéknek (Govaerts és Verhulst 2010), ahol az NDVI a normalizált vegetációs index, a NIR a közeli infravörös tartomány, a RED pedig a látható tartomány vörös sávja.

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Ez az adat a méréseik szerint erős korrelációt mutatott a növények termésadataival is bizonyos élettani fázisokban, azonban ha nem megfelelő

vegetációs szakaszban történik a vizsgálat, a korreláció már gyengébb. Az eddig adatok azt mutatják, hogy az NDVI érték a levelek nitrogéntartalmával mutatja a legerősebb korrelációt (*Raun et al. 2001, Teal et al. 2006*) azonban ahol a vízmennyiség a növény növekedését limitáló faktor ott a szárazságtűréséről adhat információt (*Govaerts és Verhulst 2010*). A világ mezőgazdasági termelésében a legnagyobb károkat az aszály okozza (*Boyer 1982*). A növények vízhiánya összetett molekuláris, sejt, szövet és szervezeti szinten jelentkező változásokat indukál a növényekben, de a legjellemzőbb hatása az, hogy korai levélöregedést okoz, melynek következménye a levelek fehérje- és klorofilltartalmának csökkenése (*Nagy et al. 2013*).

A kukorica termesztése szempontjából is a szárazság jelenti a legnagyobb termésvesztéséget okozó környezeti hatást. Az optimálisnál magasabb hőmérséklet és a vízhiány jelentősen megváltoztatja a növény fiziológiai állapotát (*Cheikh és Jones 1994, Beck et al. 2007*) és ezek a változások jól korrelálnak a növények klorofilltartalmával és ez az érték erős kapcsolatot mutat a növények fehérje- és nitrogéntartalmával is (*Bänziger és Araus 2007*). A növények klorofilltartalma roncsolásmentes módszerekkel könnyen vizsgálható, ilyen a SPAD és az NDVI mérésen alapuló módszerek, melyekkel próbáltak már vizsgálni a szárazság stresszel szemben ellenálló kukorica genotípusokat is (*Aparicio et al. 2000*).

A kísérletünkben az NDVI érték automatikus számítására alkalmas GreenSeeker™ készüléket használtunk. A normalizált vegetációs indexet használják termésbecslésre nitrogén műtrágyázási kísérletekben és a szárazságstressz hatásainak vizsgálatában is. *Teal et al. (2006)* megállapították, hogy a NDVI értékek a korai fejlődési fázisban nem mindig korrelálnak szorosan a terméseredményekkel. Azonban míg a nitrogénellátottságnál egyértelmű és szoros korrelációkat találtak, sajnos a szárazsággal szembeni ellenállósággal kapcsolatos vizsgálatok során kimutatták, hogy a levélöregedés sebessége és a vízhiánnyal szembeni tolerancia nem mindig mutat erős korrelációt. Ennek oka lehet, hogy a növények gyors levélöregedését nem csak a vízhiány okozhatja, hanem azok gyors életciklusa, koraisága is. Emiatt is tartottuk fontosnak, hogy 85 kukoricahibrid NDVI értékét vizsgáljuk a késői vegetatív fázistól kezdve a termésérésig és vessük össze azokat a terméseredményekkel, ezáltal szolgáltatva adatokat a termelőknek és nemesítőknek a pontosabb termésbecsléshez főként

aszályos években, melyek előfordulása az elmúlt időszakban egyre gyakoribbá vált.

Anyag és módszer

A kísérleteket három évben, véletlenblokk elrendezésben, két öntözött, illetve három öntözetlen ismétlésben vetettük el a martonvásári Kutatóintézet kísérleti terén. A duplasoros parcella hossza 5,6 m volt, a tőtávolság 20 cm, a parcellánkénti növényszám 55–60 db növény között volt. A talaj löszön képződött mészlepedékes csernozjom, kedvező vízgazdálkodással, vályog típusú talaj fizikai állapottal.

A talaj víztelítettség-állapotát a tenyészidőszak folyamán folyamatosan mértük helyi talajnedvesség-mérő szenzorokkal. Az öntözött területen két, az öntözetlen területen három készüléket helyeztünk el úgy, hogy az jól reprezentálja a terület talajának nedvességállapotát. A szenzorokat 30, 60 és 90 cm mélységben helyeztük el. Az öntözés mindig a talajnedvesség aktuális állapota alapján történt. A víztartalom mérése az elektromos vezetőképesség (konduktivitás) elve alapján működő Decagon - Em20 talajnedvesség mérő szenzorokkal (v/v %), tenziométerekkel (cBar) és automata adatgyűjtőkkel (loggerekkel) történt.

A kísérletben több kukorica beltenyésztéses vonalakból és egy európai flint teszter keresztezésével, chilei téli generációban, faktoriális párosítási modell alapján létrehozott beltenyésztéses hibrideket vizsgáltunk. A kísérletbe vont genotípusok száma összesen 85 db volt.

Öntözés, évente 4–5 alkalommal (nyáron, június és július hónapokban), a talajszenzorok adatainak megfelelően, kizárólag az öntözött területen történt. A tenziométeres méréseknek megfelelően a víz kijuttatását akkor kezdtük meg, ha a tenziométer értéke -30 cB alá csökkent. Az öntözés lineár rendszerű öntözőberendezésekkel történt, ami egyenletes mennyiségű víz kijuttatását tette lehetővé a teljes terület hosszában. A kijuttatott víz mennyisége esetenként 40–50 mm öntözővíz volt. A kedvezőtlen vízellátottságú területen öntözés csak egy alkalommal, a virágzást követő 15. napon történt, 15 mm vízmennyiséggel.

A normalizált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index) egy dimenzió nélküli mérőszám, amely – táblaszinten vagy lokálisan – kifejezi egy vizsgált terület vegetációs aktivitását. Felhasználható növényállományok (kezdeti) fejlődésének megfigyelésére, egészségi állapotának felmérésére, a tápanyagellátottság

mérésére, a nitrogénhiány területileg differenciált meghatározására, gyomborítottság mérésére. Az adatok használhatóak termés, biomassa akkumuláció és növekedési ráta előrejelzésére, a növények öregedési ütemének becslésére, valamint biotikus és abiotikus stressz jelenlétének kimutatására. A mérés azon alapul, hogy a növényi levelekben található klorofill molekulák a fotoszintézis során a fényt a látható vörös tartományban nagymértékben elnyelik, míg az infravörös tartományban visszaverik, így az infravörös és a vörös fényintenzitások arányosításával képzett indexek szoros összefüggésben állnak a növényi szövet klorofill tartalmával, azok fotoszintetikus aktivitásával. A vegetációs index -1 és +1 közötti érték. Vízfelület például negatív értékeket, míg a növényzet teljes hiánya nulla körüli értéket ad. Fotoszintetikusan aktív növényzet (a klorofill mennyiségével arányosan) pozitív NDVI értékkel bír (0 és 1 érték között).

A méréseket tiszta, napos, szélmentes időben, száraz növényfelületen végeztük el úgy, hogy a készüléket az állomány felett 50 cm-es magasságban tartottuk. A termésszámokat kisparcellás kombájn betakarítással mértük meg. A mérésre használt műszer egy menetben mérte meg a parcellánkénti termést (g) és a szemnedvességet (%). A csövek hosszának és a termékenyülés mértékének mérését mintacsöveken végeztük el (a termésüket a feldolgozás után a teljes parcellasúlyhoz hozzáadtuk), megszámláltuk továbbá a csövenkénti szemszámot is. Az ezerszemtömeget a csövenkénti szemszámból és a csövenkénti szemsúlyból számoltuk ki.

A statisztikai értékelést az Agronomix Inc. Agrobasesoftverével és a Genstat programokkal végeztük el. A tulajdonságokra és a kezelésekre varianciaanalízist (ANOVA) futtattunk le, vizsgáltuk továbbá a kezelések közötti kölcsönhatásokat is (genotípus, öntözés). A tulajdonságok közötti összefüggések meghatározására lineáris korrelációt is számoltunk.

Eredmények

A kísérletekben az évek és a kezelések átlagában megvizsgáltuk a termés, az ezerszemtömeg és a csövenkénti szemszám összefüggéseit. A betakarításkor mért parcellánkénti termésmennyiség az öntözés hatására statisztikailag igazolhatóan nagyobb volt. A genotípusok között jelentős eltéréseket mértünk a termés mennyiségében. Öntözés hatására az ezerszemtömeg és a csövenkénti szemszám nagyobb volt. A vizsgálataink célja annak megállapítása volt, hogy az optikai

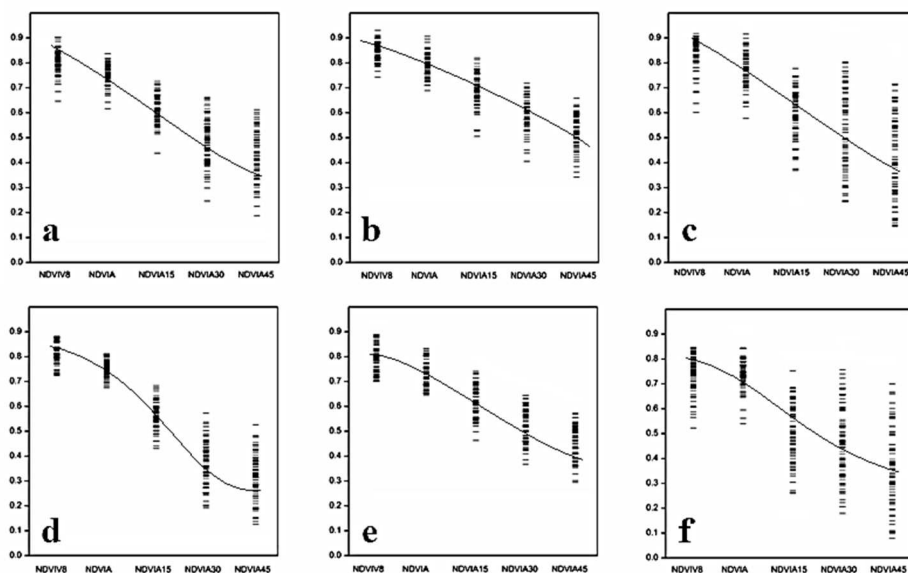
eszközökkel lehetséges-e a termés mennyiségének előrejelzése, illetve amennyiben van összefüggés egy számszerűsített fotoszintetikus-aktivitás adat és a realizált termésmennyiség között, akkor milyen erős ez az összefüggés, mikor és milyen mértékben korrelálnak a tulajdonságok.

Az első Greenseeker-es mérésünket az 50%-os hímvirágzás előtt a növények nyolcleveles állapotában végeztük el. Ekkor az NDVI érték a 85 hibrid esetében 0,73 és 0,86 között alakult, a kísérlet főátlaga 0,80 volt. Az öntözésnek szignifikáns hatása volt a fotoszintetizáló levélfelület alakulására. A jó vízellátottságú körülmények között nevelt növények átlagos értéke 0,83 a száraz termesztésbe vont növények NDVI értéke 0,78 volt. Az 50%-os hímvirágzáskor a méréseket megismételtük. Az eredmények alapján a fotoszintetikusán aktív levélfelület a virágzás napján már kissé csökkent. A kísérlet főátlaga ekkor 0,76, a legkisebb mért érték 0,68 a legnagyobb 0,83 volt. Az öntözött állomány a virágzás idején is nagyobb fotoszintetikus-aktivitást mutatott (0,77) míg öntözés nélkül az átlagos érték kisebb volt (0,74).

15 nappal a hímvirágzás után a vizsgálatokat megismételtük. A főátlag 0,60 volt (0,42 és 0,71 szélsőértékkel), a fotoszintetikus aktivitás tehát tovább csökkent. Az öntözés hatása sokkal kifejezettebb volt (0,56 száraz és 0,64 öntözött területen). A vízutánpótlás kedvező hatása ekkor már megmutatkozott, a kedvező körülmények között nevelt növények fotoszintetikusán aktív felülete nagyobb volt öntözetlen társaiknál (*1. ábra*).

Harminc nappal a virágzás után a kísérlet főátlaga 0,50 volt. A szélső értékek 0,33 és 0,66 voltak és az öntözés kedvező hatása ekkor is megnyilvánult (0,46 nem öntözött; 0,54 öntözött). Végül 45 nappal a hímvirágzás után, gyakorlatilag a szemek biológiai érettsége előtt mértük meg az NDVI értéket. A kísérlet főátlaga 0,42 volt. A legkisebb mért érték 0,25 a legnagyobb 0,58 volt. Az öntözés kedvező hatása továbbra is érvényesült, átlagosan mintegy 0,08 értékkel nagyobb volt a fotoszintetikus-aktivitás az öntözött parcellák esetében.

1. ábra. NDVI értékek alakulása a 85 genotípus gyakorisági-eloszlás diagramján öntözött (a, b, c) és öntözetlen (d, e, f) körülmények között

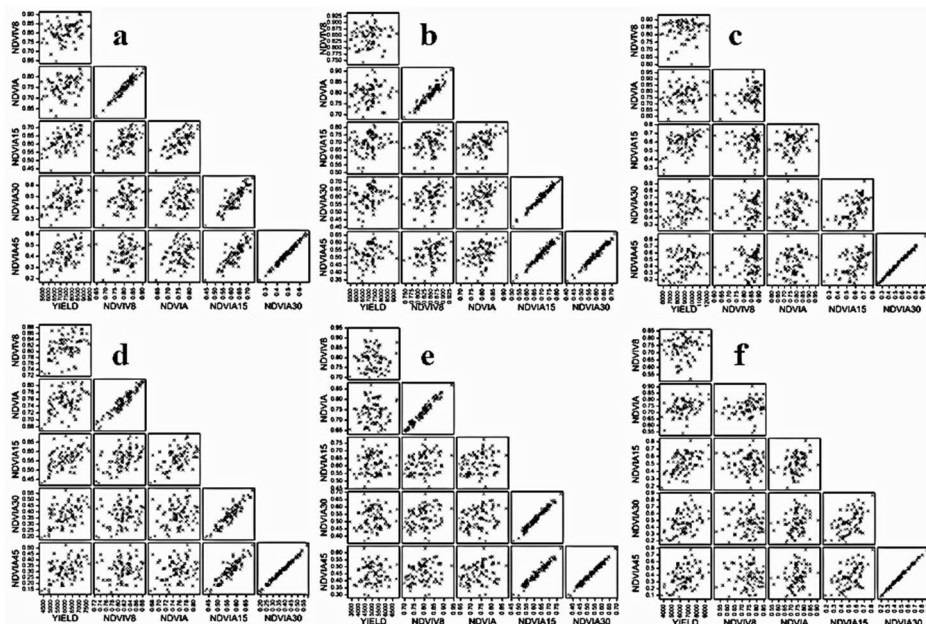


Megjegyzés: NDVI V8 – NDVI érték 8 leveles állapotban (V8 stádium); NDVI A – NDVI érték antézis idején; NDVI A15 – NDVI érték 15 nappal az 50%-os hímvirágzás után; NDVI A30 – NDVI érték 30 nappal az 50%-os hímvirágzás után; NDVI A45 – NDVI érték 45 nappal az 50%-os hímvirágzás után.

Figure 1. NDVI values on the frequency distribution diagrams of 85 genotypes under irrigated (a, b, c) and non-irrigated (d, e, f) conditions. Note: NDVI V8 – NDVI value at 8 leaf stage (V8 stage); NDVI A – NDVI value at anthesis; NDVI A15 – NDVI value 15 days after 50% male flowering; NDVI A30 – NDVI value 30 days after 50% male flowering; NDVI A45 – NDVI value 45 days after 50% male flowering.

A különböző időpontokban kapott NDVI értékek alakulását összevetettük a betakarításkor mért terméseredményekkel. A lineáris korreláció eredményeit a 2. ábra mutatja be.

2. ábra. NDVI értékek és a termés lineáris korrelációs mátrixa a három évben, öntözött (a, b, c) és öntözetlen (d, e, f) körülmények között



Megjegyzés: NDVI V8 - NDVI érték 8 leveles állapotban (V8 stádium); NDVI A - NDVI érték antézis idején; NDVI A15 - NDVI érték 15 nappal az 50%-os hímvirágzás után; NDVI A30 - NDVI érték 30 nappal az 50%-os hímvirágzás után; NDVI A45 - NDVI érték 45 nappal az 50%-os hímvirágzás után; YIELD - szemtermés.

Figure 2. Linear correlation matrix of NDVI values and yield in the three years under irrigated (a, b, c) and non-irrigated (d, e, f) conditions. Note: NDVI V8 - NDVI value at 8 leaf stage (V8 stage); NDVI A - NDVI value at anthesis; NDVI A15 - NDVI value 15 days after 50% male flowering; NDVI A30 - NDVI value 30 days after 50% male flowering; NDVI A45 - NDVI value 45 days after 50% male flowering; YIELD - grain yield.

A korreláció közepes erősségű, jelentős kapcsolatot feltételez a mérések és a termés között. A kapcsolat a virágzás előtt a legkisebb, $r=0,2957$ (biztos, de gyenge kapcsolat); az 50%-os hímvirágzás idején erősödik ($r=0,3558$), majd 15 nappal a virágzás után éri el a csúcát ($r=0,5178$). Kettő, illetve négy héttel később az érték $0,47-0,48$ körül marad (közepes erősségű, jelentős kapcsolatot feltételez). A kapott eredmények alapján elmondható, hogy az

öntözetlen körülmények között a korrelációk gyengültek, míg öntözéses területeken az összefüggés erősödött.

Az NDVI értékek és a csövenkénti szemszám között elhanyagolható összefüggést találtunk ($r=0,01-0,06$ között) ami érthető, hiszen a mérések egy részét már virágzás után a szemtelítődés ideje alatt végeztük el, amikor a szemek számának kialakulása már befejeződött.

A fotoszintetikus-aktivitás értékei az ezerszemtömeggel jelentős és erős, esetenként közepesen erős összefüggést mutattak ($r=0,4-0,5$). Az öntözetlen területen szárazságstressz hatására a szemtelítődés lassabb volt és rövidebb ideig tartott, ebben az esetben az összefüggés gyengébbnek bizonyult. Az ezerszemtömeg és a csövenkénti szemszám között gyenge negatív korrelációt találtunk ($r= -0,1 - -0,3$), az öntözés hatására erősebbé vált, a vízhiány hatására gyengült.

Következtetések

A kísérleteinkben mért terméseredmények alapján elmondható, hogy az öntözés nélküli termesztés esetén a betakarított termés mennyisége lényegesen kisebb volt (átlagosan 27,1%-os terméscsökkenés volt a nem öntözött területen az öntözöthöz képest az összes genotípust figyelembe véve). A termés kiesést nem elsősorban a szemtelítődés lerövidülése és ezáltal az ezerszemtömeg csökkenése, hanem a csövenkénti szemszám csökkenése okozta, ami a virágzáskor előforduló aszály miatt bekövetkezett termékenyülési problémáknak tulajdonítottunk.

A fotoszintetikus-aktivitás a virágzás előtt érte el a csúcát, az 50%-os hímvirágzás idejére már csökkentő tendencia volt mérhető. A virágzás után 15 és 30 nappal ez az érték kismértékben tovább csökkent, ugyanakkor elmondható, hogy a csökkenés mértéke a vízellátottságtól függően változott. Öntözéses termesztéstechnológiában a genotípusok lassan, egyenletesen és egymáshoz hasonló ütemben veszítik el fotoszintetikusan aktív zöld színtestjeik mennyiségét. Öntözés nélküli termesztéstechnológiában nagyobb különbségek jelentkeznek, az egyes genotípusok szárazságtoleranciája nagyobb jelentőséget kap, a fotoszintetikusan aktív felület csökkenése gyorsabb és a hibridek között jelentős eltérések lehetnek a vegetáció későbbi szakaszaiban. Az öntözés jelentősen növelte a fotoszintetikusan aktív levélfelületet a virágzás

utáni 45. napon, ami azt is jelenti, hogy az asszimiláták előállítása tovább tart és a termés ezáltal nagyobb lehet.

A termés előrejelzésében tehát már virágzáskor, vagy azelőtt is érdemes kísérletet tenni, a virágzás idején felmerülő különbségek hatással lehetnek az év végi termés alakulására. A GreenSeeker™ készülékkel végzett mérések alapján elmondható, hogy a növények nyolcleveles állapotában kapott NDVI értékek az évjárattól, öntözéstől függően igen eltérőek lehetnek. Ennek alapján a mérések eredményeit felhasználva becslést tehetnénk a betakarításkor várható termés mennyiségére, azonban a korrelációs vizsgálatok alapján elmondható, hogy a nyolcleveles korban mért NDVI értékek a termés alakulásával csak gyenge, majdnem elhanyagolható kapcsolatban vannak. Az 50%-os hímvirágzás idején mért eredmények azt mutatták, hogy a mérésekből már határozottabb, de még mindig kevésbé megbízható következtetés vonható le a termésre vonatkozólag. A virágzás után 15 nappal végzett fotoszintetikus-aktivitás vizsgálatok hozták a legkedvezőbb eredményeket, az ekkor begyűjtött eredmények korreláltak a legerősebben az év végén kapott terméssel, a kapcsolat közepes korrelációt, jelentős kapcsolatot mutatott ($r=0,5-0,6$). A vegetáció későbbi időszakaiban is érdemes a méréseket elvégeznünk, mert az összefüggés továbbra is biztos, de kismértékű marad ($r=0,5$ alatt, biztos, de gyenge kapcsolatot feltételez).

Az NDVI értékek és a csövenkénti számszám között elhanyagolható kapcsolatot találtunk, ugyanakkor az ezerszemtömeg értékekkel jelentős, erős, esetenként közepesen erős összefüggést mutattak. Ez azt a megállapítást támasztja alá, hogy a fotoszintetikus-aktivitás az asszimiláták előállításának intenzitásával van szoros összefüggésben, ami pedig közvetlen hatással van a keményítő szemekbe épülésének ütemével. Az NDVI használatával tehát megmérhetjük a fotoszintetikusan aktív felület klorofill-koncentrációjának alakulását, amiből következtethetünk a várható termés alakulására is.

Összegzés

A kísérlet alapján megállapíthatjuk, hogy a várható termés előrejelzése lehetséges a virágzáskor, illetve a virágzás utáni két hétben, és ekkor kaphatunk megbízható eredményeket az év végén várható terméseredményre vonatkozólag. A mérések között eltelt idő számít, általában az egymáshoz közelebb eső időpontokban mért eredmények erősebben összefüggenek, míg a tenyészidőszak

közepén, illetve végén kapott értékek kisebb korrelációt mutatnak egymással. A korrelációs vizsgálatokból arra a következtetésre jutottunk, hogy a mérések eredményeiből sokszor eltérően, és csak jelentős fenntartásokkal lehet a betakarításkor mérhető termésmennyiségre következtetni. Érdekes a virágzás idejét megvárni és utána 15 nappal a méréseket megismételni. Az érés előre haladtával a fotoszintetikus aktivitás csökken, a terméssel való összefüggés erőssége kisebb lesz, de ekkorra már kiegészítő információkkal lát el minket a fejlődő csövek mérete és száma, az abortálódott szemek aránya a megtermékenyült szemek mennyiségéhez viszonyítva és a szemtelítődés folyamatát is nyomon tudjuk követni.

IRODALOM

- Aparicio, N.-Villegas, D.-Casadesús, J.-Araus, J. L.-Royo, C.:* 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*. 92: 83-91.
- Bänziger, M.-Araus, J.:* 2007. Recent advances in breeding maize for drought and salinity stress tolerance. [In: Jenks et al. (eds.) *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops.*] Springer. Netherlands. 587-601.
- Beck, E. H.-Fettig, S.-Knake, C.-Hartig, K.-Bhattarai, T.:* 2007. Specific and unspecific responses of plants to cold and drought stress. *Journal of Biosciences*. 32: 501-510.
- Boyer, J. S.:* 1982. Plant Productivity and Environment. *Science*. 218: 443-448.
- Cheikh, N.-Jones, R. J.:* 1994. Disruption of maize kernel growth and development by heat stress (role of cytokinin/abscisic acid balance). *Plant Physiology*. 106: 45-51.
- Govaerts, B.-Verhulst, N.:* 2010. The normalized difference vegetation index (NDVI) Greenseeker (TM) handheld sensor: toward the integrated evaluation of crop management. Part A: Concepts and case studies. CIMMYT. Mexico. 1-16.
- Nagy, Z.-Németh, E.-Guóth, A.-Bona, L.-Wodala, B.-Pécsváradí, A.:* 2013. Metabolic indicators of drought stress tolerance in wheat: Glutamine synthetase isoenzymes and Rubisco. *Plant Physiology and Biochemistry*. 67: 48-54.
- Parry, M. A. J.-Hawkesford, M. J.:* 2010. Food security: increasing yield and improving resource use efficiency. *Proceedings of the Nutrition Society*. 69: 592-600.

- Raun, W. R.–Solie, J. B.–Johnson, G. V.–Stone, M. L.–Lukina, E. V.–Thomason, W. E.–Schepers, J. S.:* 2001. In-season prediction of potential grain yield in winter wheat using canopy reflectance. *Agronomy Journal*. 93: 131–138.
- Teal, R. K.–Tubana, B.–Girma, K.–Freeman, K. W.–Arnall, D. B.–Walsh, O.–Raun, W. R.:* 2006. In-season prediction of corn grain yield potential using normalized difference vegetation index. *Agronomy Journal*. 98: 1488–1494.
- Tucker, C. J.:* 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 8: 127–150.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Spitkó Tamás – Dr. Szőke Csaba – Kovács Anett – Csepregi-Heilmann Eszter –
Dr. Pintér János – Dr. Berzy Tamás – Dr. Marton L. Csaba
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet ELKH
Martonvásár
Brunsztvík út 2.
H-2462
*spitko.tamas@atk.hu

A kukorica hibridek fenológiájának, szemtermésének, hő- és vízhasznosítási hatékonyságának alakulása az éghajlati tényezők hatására

SZÉLES ADRIENN - HORVÁTH ÉVA - ZAGYI PÉTER -

IBTISSEM BALAOUT - SIMON KÁROLY

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A Debreceni Egyetem mészlepedékes csernozjom talaján beállított sávos elrendezésű szántóföldi kísérletben vizsgáltuk 2021. évben az Agrometeorológiai index (Growing Degree Days, GDD) hatását a Merida (FAO 380), Fornad (FAO 420) és az Armagnac (FAO 490) kukorica hibridek fenológiájára. Továbbá, hogy a felhasznált nitrogén mennyisége, és annak kijuttatási ideje hogyan befolyásolja a kukorica hibridek sztómakonduktanciáját (G_s) hő- és vízfelhasználási hatékonyságát (HUE, WUE), illetve produktivitását.

A műtrágyázás nélküli (A_0) kezelés mellett, a tavaszi alaptrágyaként kijuttatott 60 és a 120 kg N/ha (A_{60} , A_{120}) dózist kétszeri fejtrágyázás követte V6 (V_{690} , V_{6150}) majd V12 (V_{12120} , V_{12180}) fenofázisban, mennyisége +30 és +30 kg N/ha volt. A G_s méréseket V6, V12, VT, R1 és R6 fenológiai szakaszokban mértük.

A kedvezőtlen környezeti tényezőnek köszönhetően a hibridek a keléshez szükséges hőegység (GDD) mennyiség mindössze 40-50%-át gyűjtötték össze (34-53 °C). A korai érésű Merida hibrid kelési időtartama volt a legrövidebb (22 nap). A GDD felhalmozódás a reproduktív szakaszban (R1-R6) magasabb volt, mint a vegetatív szakaszban (VE-VT), amely hibridenként eltérést mutatott. A Fornad hibridnél volt a GDD növekedés mértéke a legnagyobb, 125 °C, míg a Merida hibridnél a legalacsonyabb 107 °C. A GDD tekintetében a vizsgált korai és középerésű hibridek tenyészidőszakában kialakult eltérések megbízhatóan nem igazoltak.

A V6 fázistól az R1 fenofázisig kialakult vízhiány nem párosult magas hőmérséklettel, így a transzspiráció nem csökkent, a hibridek sztómái nem záródtak. A virágzást követően az R6 szakaszra nagymértékben csökkent a G_s érték mindhárom hibridnél ($p < 0,05$), a csökkenés mértéke a műtrágyakezelések átlagában az Armagnac hibridnél volt a legnagyobb (41,1%; 170 mmol/m²/s).

A legjobb trágyázási stratégia a korai érésű Merida hibridnél az A₆₀, a középerésű hibrideknél az A₁₂₀ kezelés volt. Ez akkor érhető el, ha az átlagos G_s érték 390 mmol/m²/s körül mozog, illetve az R1 fenofázisban a legmagasabb.

Igazolódott, hogy az optimális tápanyagellátás hozzá járul a HUE és WUE értékek növeléséhez. Az A₁₂₀ kezelés hatására – az A₀ viszonyítva – a HUE növekedés a Fornad hibridnél (3,8 kg/ha/°C/nap), a WUE az Armagnac hibridnél (38,0 kg/mm) volt a legnagyobb. A Merida hibrid hatékonyabban hasznosította a hőt, mint a Fornad és az Armagnac hibridek. Megnövelte biológiai aktivitását, amit minden tápanyagszinten a magasabb terméshozam igazolt, azonban megbízható különbség ($p < 0,05$) a V12₁₂₀ kezelésben volt kimutatható a Fornad hibriddel szemben.

Az eredmények hasznos segítséget nyújtanak a termesztőknek felkészülni a jövőbeli környezeti változásokra és a sikeres gazdálkodáshoz.

Kulcsszavak: kukorica, N-trágyázás, GDD, G_s , HUE WUE

Phenology and grain yield of maize hybrids, heat and water use efficiency as a result of climatic factors

SZÉLES ADRIENN – HORVÁTH ÉVA – ZAGYI PÉTER –
IBTISSEM BALAOUT – SIMON KÁROLY

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

Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

The effect of the Agrometeorological Index (Growing Degree Days, GDD) on the phenology of maize hybrids Merida (FAO 380), Fornad FAO 420) and Armagnac (FAO 490) was examined in a strip-plot field experiment in on calcareous chernozem soil of the University of Debrecen. Furthermore, it was examined how the amount of nitrogen applied and its application time affect the stomatal conductance (G_s), heat and water use efficiency (HUE, WUE) and productivity of maize hybrids.

In the no fertilisation (A_0) treatment, 60 and 120 kg N ha⁻¹ (A_{60} , A_{120}) applied as spring basal fertiliser were followed by two top dressing applications at the V6 (V6₉₀, V6₁₅₀) and V12 (V12₁₂₀, V12₁₈₀) phenophases at +30 and +30 kg N ha⁻¹. G_s measurements were taken at phenological stages V6, V12, VT, R1 and R6.

Due to the unfavourable environmental factor, hybrids accumulated only 40–50% of the amount of heat unit required for germination (GDD) (34–53 °C). The early maturing Merida hybrid had the shortest germination period (22 days). GDD accumulation was higher in the reproductive stage (R1–R6) than in the vegetative stage (VE–VT), which showed a variation by hybrid. The Fornad hybrid had the highest GDD growth rate of 125 °C, while the Merida hybrid had the lowest at 107 °C. No reliable differences in GDD between the early and mid-ripening stages of the tested hybrids were observed.

The water deficit from V6 to R1 phenophase was not associated with high temperatures, i.e. transpiration was not reduced and the stomata of the hybrids were not closed. After silking, G_s decreased significantly in all three hybrids by the R6 stage

($p < 0.05$), with the rate of decrease being greatest in the Armagnac hybrid (41.1%, $170 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) on average across the various fertiliser treatments.

The best fertilisation strategy was A_{60} for the early maturing Merida hybrid and A_{120} for the medium maturing hybrids. This is achieved when the average G_s value is around $390 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ and is highest at the R1 phenophase.

It was confirmed that optimal nutrient supply contributes to the increase in HUE and WUE values. The increase in HUE in the Fornad hybrid ($3.8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \text{ day}^{-1}$), and WUE in the Armagnac hybrid (38.0 kg mm^{-1}) was the highest in the A_{120} treatment compared to A_0 . The Merida hybrid was more efficient in utilising heat than the Fornad and Armagnac hybrids. It increased its biological activity, as evidenced by higher yields at all nutrient levels, but a reliable difference ($p < 0.05$) was detected in the $V12_{120}$ treatment compared to the Fornad hybrid.

The results are useful to help growers to prepare for future environmental changes and successful management.

Keywords: maize, N fertilisation, GDD, G_s , HUE WUE

Bevezetés

Jelenleg az éghajlatváltozás okozta kedvezőtlen időjárási szélsőségek, a szárazság és a vízhiány a növények növekedésének, fejlődésének és a terméshozamok kritikus akadálya világszerte (Lobell et al. 2014, Jolánkai et al. 2016, Song et al. 2018, Huzsvai et al. 2020).

A három fontos éghajlati paraméter, a hőmérséklet, a csapadék és a fény közül a hőmérséklet a növény fejlődésének az elsődleges befolyásoló tényezője (Marton et al. 2005, Hatfield és Prueger 2015). A kukorica hibridek egyes fenológiai szakaszának eléréséhez meghatározott hőegység akkumuláció szükséges (Ahmed és Saikai 2020). A fenofázisok és a betakarítás időpontjának becslésére széles körben alkalmazzák a hőmérséklet alapú GDD (Growing Degree Days) agrometeorológiai indexet (Roy et al. 2005).

A vízstressz károsan hat a sztóma vezetőképeségére, részleges sztómazáródást okoz (Wang et al. 2018), csökkenti a transzspirációt (Prado et al. 2018), növeli a sztóma sűrűségét és csökkenti a sztómák porusának nyílását, jelezve a növények alkalmazkodását az aszály stresszhez (Gamage et al. 2018,

Nemeskéri és Helyes 2019). Továbbá csökken a CO₂ abszorpciója, ami befolyásolja a fotoszintézist, a növény teljes funkcionalitását, és gátolja a növények növekedését és fejlődését (*Tian et al. 2019*).

A hőfelhasználás hatékonyságának (HUE) számszerűsítése hasznos a növények terméspotenciáljának felméréséhez (*Singh et al. 2018*). A növények számára rendelkezésre álló teljes hő- és sugárzási energia legkedvezőbb agroklímátikus körülmények között sem alakul át teljesen szárazanyaggá. A HUE függ a vetés idejétől, a genetikai tényezőktől és az alkalmazott agrotechnikától (*Rani et al. 2012, Horváth et al. 2021*).

Az éves csapadékmennyiség és annak eloszlása döntő fontosságú a termésmennyiség szempontjából. Az aszály mértéke és időtartama is fontos szerepet játszik a WUE befolyásolásában (*Ma et al. 2019*), valamint a növények fejlődési szakaszinak kialakulásában (*Zohu et al. 2021*). A környezeti tényezők mellett jelentősen befolyásolja a természetstechnológia megválasztása, pld. tápanyagellátás, vetésváltás, talajművelés, vetésidő és a fajok/hibridek (*Pepó 2005*).

A műtrágya-felhasználás központi szerepet tölt be a kukorica terméshozamának növelésében (*Nagy 2021, Bojtor et al. 2022*). A nitrogén a kukorica növényi növekedésének és hozamának elsődleges korlátozó tényezője (*Berzsenyi 2009*). A megfelelő mennyiségben és időben alkalmazott tavaszi N alap- és fejtrágyázás csökkenti a nitrogénvesztést, növeli a nitrogénellátás hatékonyságát. Továbbá, javítja a tápanyagellátás hatékonyságát, a termés nagyságát, egybevetve a termelés hatékonyságát (*Széles et al. 2019*).

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén végeztük, löszön képződött, alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. A kísérlet sávos elrendezésű, kétismétléses kiscellás szántóföldi tartamkísérlet, amely 2011. évben lett beállítva.

A kísérletben hét műtrágyakezelést alkalmaztunk. A műtrágyázás nélküli (A₀) kezelés mellett, a tavaszi alaptrágyaként kijuttatott 60 és a 120 kg N/ha (A₆₀, A₁₂₀) dózist, amelyet kétszeri fejtrágyázás követett V6 (V₆₉₀, V₆₁₅₀) majd V12 (V₁₂₁₂₀, V₁₂₁₈₀) fenofázisban, mennyisége +30 és +30 kg N/ha volt.

A növényszám 73 ezer növény/ha, az elővetemény kukorica volt. A kukorica vetése 2021. 04. 08-án, betakarítása 2021. 09. 24-én volt. A betakarított szemtermést 14%-os nedvességtartalomra korrigálva lett megadva.

Jelen dolgozatban természetes csapadékellátottság mellett a Merida (FAO 380), Fornad (FAO 420) és az Armagnac (FAO 490) hibridek GDD, G_s, HUE, WUE és termés eredményei kerültek elemzésre.

Az időjárást a kísérleti területen elhelyezett automata időjárás-állomás által mért és rögzített adatok alapján értékeltük. Az értékeket az 1981–2010-es időszak átlagához viszonyítottuk (*Gombos és Nagy 2019*). A fenológiai szakaszokra vonatkozóan a GDD agrometeorológiai indexet alkalmaztuk.

Hőösszeg (növekedési foknap, GDD, nap °C)

$$GDD = \sum \left(\frac{T_{\max} + T_{\min}}{2} - T_b \right), \quad (1)$$

ahol: T_{max} (°C) a napi maximumhőmérséklet, T_{min} (°C) a napi minimum hőmérséklet, T_b (°C) a bázishőmérséklet. A hőösszegszámítást T_b=10 (°C) értékkel végeztük el (*Davidson és Cambell 1983*).

Hőfelhasználási hatékonyság (HUE, kg/ha °C/nap)

$$HUE = \text{Termés} / GDD, \quad (2)$$

ahol: Σ GDD = Felhalmozott hőösszeg.

Vízfelhasználási hatékonyság (WUE, kg/mm)

$$WUE = \text{Termés} / T_{es} \quad (3)$$

ahol: a T_{es} = a tenyészidőszakban lehullott csapadékmennyiség.

A növények G_s értékét V6, V12, VT, R1 és R6 fenológiai szakaszban, az Sc-1 Leaf Porométerrel végeztük, kizárólag napfényes, déli és kora délutáni órákban. Minden kezeléskombinációban három véletlenszerűen kiválasztott növényt vizsgáltunk, minden növényen három mérést végeztünk, így kilenc mérés átlaga reprezentálta az adott parcella G_s értékét. Az egész növényre jellemző érték eléréséhez a kijelölt növényeken – az eltérő fejlettséget és árnyékoltságot figyelembe véve – az alsó, középső és felső leveleken végeztük a méréseket.

A kezelések függő változóra gyakorolt hatását általános lineáris modellel (GLM) vizsgáltuk (Huzsvai és Vincze 2013). A kezeléskombinációk középértékeinek összehasonlítását Duncan-teszttel végeztük. Az alap szignifikancia szint 5% volt. A kiértékelést az SPSS for Windows 23.0 statisztikai programcsomaggal végeztük.

Eredmények

A hőösszeg (növekedési foknap, GDD) hatása a kukorica hibridek fenológiai fázisaira

Természetes csapadékellátottság mellett a kukorica hibridek korai vetését követően (április 8.) a kelésig (VE) eltelt időszakban a talaj- és léghőmérséklet, illetve a felhalmozott GDD alacsonyan alakult (1. ábra). Ennek köszönhetően a kelés elhúzódott, a korai érésű Merida hibrid 34 növekedési foknapot felhalmozva 22 nap alatt kelt ki, 18 mm lehullott csapadék mellett. A leghosszabb tenyészidejű középérésű Armagnac hibrid 53 GDD-t halmozott fel 25 nap alatt a keléshez. A Fornad hibridnek 24 nap alatt 47 GDD-re volt szükség a keléshez. E két hibrid keléséig a csapadékmennyiség 25–26 mm volt.

A hibridek vegetatív (VE-VT) és reprodukzív (R1-R6) szakaszok eléréséhez szükséges GDD eltérően alakult, és jelentős volt a lehullott csapadék mennyisége közötti különbség. A vetés és a VT között 102 mm, míg az R1 és R6 fenofázis között 64 mm csapadék hullott. A VT fenofázisig a felhalmozott GDD 587 és 605 °C között változott. A Merida hibrid mindkét hosszabb tenyészidejű hibridnél magasabb GDD-nél (605 °C) érte el a VT szakaszt. A legnagyobb eltérést az Armagnac hibridtől mutatta, ahol a GDD érték 587 °C volt. A virágzást (R1) a legmagasabb hőösszeggel (717 °C) 78 nap alatt a Merida hibrid értre el. A VT és az R6 fenofázis között a Fornad és az Armagnac hibrid azonos GDD-t halmozott fel (832 °C). Az R1 fenofázist követően a Fornad hibrid 718 °C GDD-t felhalmozva érte el az R6 szakaszt, míg a másik két hibrid ehhez alacsonyabb GDD értéket halmozott fel (Merida hibrid 712 °C, Armagnac hibrid 703 °C). A keléstől a fiziológiai érettségig (VE-R6) a Merida hibrid 1415 °C, a Fornad hibrid 1409 °C és az Armagnac hibrid 1402 °C GDD-t igényelt.

1. ábra. A hőösszeg, a csapadék és a sztomatikus vezetőképesség alakulása a tenyészidőszakban (Debrecen, 2021)

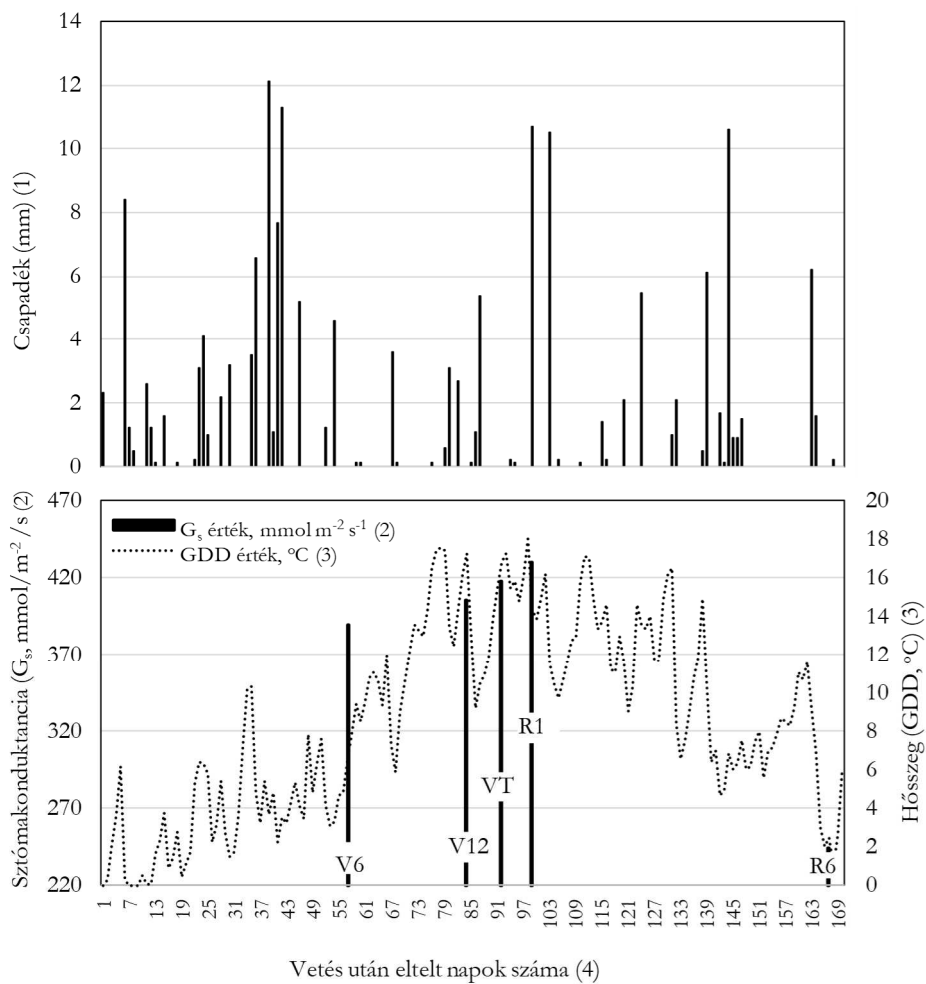


Figure 1. Heat sum, precipitation and stomatal conductivity during the growing season (Debrecen, 2021). (1) Precipitation (mm), (2) Stomatal conductance (G_s) (mmol m⁻² s⁻¹), (3) Growing Degree Days (GDD) (°C), (4) Days after sowing

A műtrágyázás hatása a kukorica hibridek sztómakonduktanciájára (G_s)

Az átlagos G_s érték 377 mmol/m²/s volt. A vegetatív növekedési szakaszban a V6 fázisban volt a G_s a legalacsonyabb (390 mmol/m²/s), a reprodukzív fázis R1 szakaszában a legnagyobb (430 mmol/m²/s) és az R6 szakaszra jelentősen lecsökkent (244 mmol/m²/s) (1. ábra).

A hibridek G_s értékei a V6 és az R6 fenofázis között tág határok között mozogtak. Az intervallum alsó értéke 219 és a felső értéke 537 mmol/m²/s volt. A V6 fenofázistól a V12 szakaszra szignifikáns ($p < 0,05$) G_s érték változás a Merida hibridnél az A₀, A₁₂₀, a Fornad hibridnél A₀, A₆₀, A₁₂₀ és V6₁₅₀, míg az Armagnac hibridnél az A₁₂₀ kezelésben volt. A Merida hibrid A₀ kezelésétől eltekintve minden esetben növekedett a G_s érték, legjelentősebb növekedés a Fornad hibrid A₁₂₀ kezelésében volt mérhető (185 mmol/m²/s). A V12–R1 szakasz között a hibridek G_s értékében statisztikailag megbízható eltérés nem volt, kivéve a Merida hibrid A₆₀ műtrágyakezelését. A V6 fenofázistól az R1 szakaszra mindhárom hibridnél az A₁₂₀ kezelésben volt a legnagyobb növekedés ($p < 0,05$). A hibridek közül a Fornad hibridnél volt a növekedés mértéke a legjelentősebb 249 mmol/m²/s. A virágzástól (R1) az R6 fenofázisig minden tápanyagszinten szignifikánsan ($p < 0,05$) csökkent a G_s érték. Legnagyobb csökkenés a Merida és az Armagnac hibridnél az A₆₀ (277 és 214 mmol/m²/s), a Fornad hibridnél az A₁₂₀ (259 mmol/m²/s) kezelésben volt kimutatható. A teljes vizsgált időszakra vonatkozva (V6–R6) a hibridek G_s értéke a műtrágyakezelések átlagában az Armagnac hibridnél volt a legnagyobb (41,1%; 170 mmol/m²/s), míg a legkisebb a Fornad hibridnél (29,2%; 102 mmol/m²/s). A tápanyagkezelések tekintetében a Merida hibridnél a V6₉₀, (164 mmol/m²/s), a Fornad (V12₁₂₀, 258 mmol/m²/s) és az Armagnac (V6₁₅₀, 271 mmol/m²/s) hibrideknél a magasabb tápanyagszinten alakult ki a legjelentősebb G_s érték csökkenés.

V6 fenofázisban minhárom hibrid G_s értéke különbözött ($p < 0,001$) egymástól az A₀, az A₆₀ és az A₁₂₀ kezelésekből, illetve az Armagnac és a Fornad hibrid között a V6₁₅₀ kezelésben ($p < 0,001$). V12 növekedési fázisban a Merida hibrid G_s értéke szignifikánsan alacsonyabb ($p < 0,05$) volt, mint a Fornad (A₆₀) és az Armagnac hibridé (A₀, A₆₀). A VT és az R1 fenofázisban a hibridek között műtrágyakezelésenként a T-teszt alapján nem volt szignifikáns különbség. Az R6 szakaszban a Merida és a Fornad hibrid között volt kimutatható különbség az A₀ ($p < 0,05$) és az A₁₂₀ ($p < 0,001$) kezelésekből.

A műtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésére, hő- és vízfelhasználási hatékonyságára (HUE, WUE)

A Merida hibridnél az A₆₀ alaptrágyakezelés alkalmazásakor mért termés 2,730 t/ha növekedést mutatott az A₀ kezeléshez (6,464 t/ha) viszonyítva ($p < 0,05$). Az A₆₀ és az A₁₂₀ kezelések közötti terméskülönbség 1,885 t/ha volt. A 60 kg N/ha alapkezelésre V6 fejlődési fázisban alkalmazott +30 kg N/ha dózisra (V6₉₀) 1,062 t/ha-ral reagált, majd további +30 kg N/ha kijuttatása a V12 fenofázisban (V12₁₂₀) nem szignifikáns növekedést hozott. Az A₁₂₀ alapkezeléshez viszonyítva sem a V6 sem a V12 fenofázisban alkalmazott fejtrágyázás szignifikáns különbséget nem eredményezett. A legnagyobb termésnövekedést a V6₁₅₀ kezelés biztosította (11,887 t/ha), azonban statisztikailag eredményesnek az A₆₀ kezelés bizonyult (9,194 t/ha). Az A₆₀ kezelés 1,90 kg/ha/°C/nap HUE érték ($p < 0,05$) és 17 kg/mm ($p < 0,05$) WUE növekedést eredményezett az A₀ kezeléshez viszonyítva (1. táblázat).

1. táblázat. *A műtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésére, hő- és vízfelhasználásai hatékonyságára (Debrecen, 2021)*

Hibridek (2)	Műtrágyakezelés (kg/ha) (1)						
	A ₀	A ₆₀	A ₁₂₀	V6 ₉₀	V6 ₁₅₀	V12 ₁₂₀	V12 ₁₈₀
Termés (t/ha) (3)							
Merida	5,647	7,689	12,019	10,618	12,062	9,476	9,720
Fornad	5,541	6,826	10,884	8,892	10,250	8,837	9,887
Armagnac	6,464	9,194	11,079	10,256	11,887	10,803	11,815
Hőfelhasználási hatékonyság (HUE) (kg/ha/°C/nap) (4)							
Merida	4,572	6,502	7,835	7,253	8,407	7,640	8,356
Fornad	3,933	4,845	7,724	6,311	7,275	6,272	7,017
Armagnac	4,027	5,484	5,572	7,573	8,604	6,759	6,933
Vízfelhasználási hatékonyság (WUE) (kg/mm) (5)							
Merida	38,9	55,4	66,7	61,8	71,6	65,1	71,2
Fornad	33,4	41,1	65,6	53,6	61,7	53,2	59,6
Armagnac	34,0	46,3	72,4	64,0	72,4	57,1	58,6

Table 1. Effect of fertiliser application on yield, heat and water use efficiency of maize hybrids (Debrecen, 2021). (1) Fertilizer treatments (kg ha⁻¹), (2) Hybrids, (3) Yield (t ha⁻¹), (4) Heat Use Efficiency (kg ha⁻¹ °C⁻¹ day⁻¹), (5) Water Use Efficiency (kg mm⁻¹)

A *Fornad hibrid* az A_{60} kezelésre 1,285 t/ha, az A_{120} kezelésre 5,343 t/ha termésmenökedéssel reagált ($p < 0,05$). A fejtrágyakezelések hatására csökkent a termésmennyiség, de a csökkenés mértéke nem volt jelentős. Statisztikailag igazolt legnagyobb termés az A_{120} kezelés hatására alakult ki (10,884 t/ha; $p < 0,05$).

Az A_0 kezelés 3,93 kg/ha/°C/nap HUE értékhez viszonyítva a 120 kg N/ha kezelés (A_{120}) 96,4%-kal (3,8 kg/ha/°C/nap; $p < 0,05$) növelte a hőfelhasználás hatékonyságát. Az A_{120} kezelésben alakult ki a legjelentősebb WUE érték is (65,6 kg/mm; $p < 0,05$), az 1 mm csapadékkal közel kétszeres (96,4%) volt a szemtermésmenökedés az A_0 kezeléshez képest.

Az *Armagnac hibrid* A_0 termése 5,647 t/ha volt, amelyhez képest az A_{60} alapkezelés 2,042 t/ha-ral, az A_{120} alapkezelés 6,372 t/ha-ral ($p < 0,05$) növelte a termést. A két alapkezelés között jelentős különbség alakult ki (4,330 t/ha; $p < 0,05$). Az alapkezelésként kijuttatott 60 kg N/ha-t a V6 fenofázisban +30 kg N/ha-ral (V6₉₀) növelve 2,929 t/ha-os termésmenökedést eredményezett ($p < 0,05$). A V12 fenológiai fázisban a további műtrágya kijuttatás szignifikáns termésmenökedést nem hozott. A Duncan teszt alapján az A_{120} kezelés 12,019 t/ha-os eredménye bizonyult a legjobbknak.

A hibridek között – a T-teszt alapján – tápanyagszintenként szignifikáns eltérés nem volt kimutatható, kivéve a Fornad és a Merida hibrid között a V12₁₂₀ kezelésben ($p < 0,05$).

A_{120} kezelés az A_0 kezeléshez képest 38,4%-kal növelte a hibrid HUE (1,5 kg/ha/°C/nap) és 38 kg/mm-rel a WUE értékét, amely 112,9%-os vízhasznosítás növekedést jelent.

Következtetések

A kedvezőtlen időjárás komoly kihívást jelent a természetes csapadékelátottság mellett folytatott növénytermesztés számára. Az időjárás adatok jelzik, hogy Magyarország fő növényének a kukoricának termesztését is egyre jobban megnehezíti.

A kedvezőtlen környezeti tényezőknek köszönhetően a hibridek 34–53 hőegységet gyűjtöttek össze, ami keléshez szükséges mennyiség mindössze 40–50%-a, és a 25 naphól 11 nap hatástalan volt a biológiai folyamatok szempontjából. A korai érésű Merida hibrid kelési időtartama volt a rövidebb.

A GDD felhalmozódás a reprodukzív szakaszban (R1–R6) magasabb volt, mint a vegetatív szakaszban (VE–VT), amely hibridenként eltérést mutatott. A Fornad hibridnél volt a hőösszeg növekedés mértéke a legnagyobb, 21,1%; míg az a Merida hibridnél a legalacsonyabb, 17,7%. A hibridek közötti tenyészidő különbség (FAO 380–FAO 490) a kialakult GDD eltérések tekintetében megbízhatóan nem igazoltak.

A vegetatív szakaszban kialakult vízhiány nem párosult magas hőmérséklettel, így a G_s érték nem csökkent szignifikánsan az R1 szakaszig. Az R6 szakaszra a csökkenés jelentős ($p < 0,05$) volt. A N-műtrágyázás G_s értéket befolyásoló hatását nem tudtuk egyértelműen kimutatni.

A vizsgált hibridek közül a legjobb tápanyag-hasznosító képességgel a legkisebb FAO számú Merida hibrid rendelkezett. A legnagyobb termés eléréséhez a javasolt N-műtrágya mennyisége és kijuttatásának időpontja a Merida hibridnél az A_{60} , míg a Fornad és az Armagnac hibridnél A_{120} kezelés. Az A_{60} kezelésre a korai érésű Merida hibrid (2,73 t/ha), míg az A_{120} kezelésre a középérésű hibridek – Armagnac hibrid (6,372 t/ha), Fornad (4,058 t/ha) – reagáltak nagyobb terménnövekedéssel az A_0 kezeléshez viszonyítva. A két alapkezelés közötti terméskülönbség a Merida hibridnél volt a legkisebb (1,885 t/ha). A Merida hibrid minden tápanyagszinten eredményesebb volt, mint a Fornad és az Armagnac hibrid, azonban szignifikáns ($p < 0,05$) különbséget csak a $V_{12_{120}}$ kezelésben lehetett kimutatni.

A kukorica hibridek hőfelhasználási hatékonyságát (HUE) a szemtermés szempontjából – egyezően *Rao et al.* (1999) és *Malo és Ghos* (2018) eredményeivel – a műtrágyakezelések befolyásolták, és a hibridek között eltérés mutatkozott. Az A_{60} kezelés a Merida hibridnél növelte legnagyobb mértékben (42,2%) a hőfelhasználási hatékonyságot, míg az A_{120} kezelés a Fornad hibridnél (96,4%). A két alapkezelés között a legnagyobb különbség a Fornad hibridnél alakult ki (59,4%). A minimális HUE mindhárom hibridnél az A_0 kezelésben volt, míg a maximális HUE a Merida hibridnél az A_{60} ($p < 0,05$), a Fornad és az Armagnac hibridnél az A_{120} ($p < 0,05$) kezelésben volt.

A vízhasznosítási hatékonyság (WUE) az A_{60} alapkezelés hatására – A_0 kezeléshez képest – a Merida hibridnél (42,4%), míg az A_{120} kezelés hatására az Armagnac hibridnél (112,9%) növekedett a legnagyobb mértékben. Az A_{60} és az A_{120} alapkezelések között a Merida hibridnél alakul ki a legalacsonyabb eltérés (20,4%; 11,3 kg/mm), a két hosszabb tenyészidejű hibridnél az eltérés

közel azonos (59,6–56,4%; 24,4–26,1 kg/mm) mértékű volt. A korábbi vizsgálatok (Pepó és Vad 2017, Nagy 2021) eredményeivel egyezően a WUE értéket az optimális tápanyagellátás jelentősen növelte az A₀ kezeléshez viszonyítva, mértéke hibridenként eltérő volt.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Ahmed, P.–Saikia, M.: 2020. Influence of sowing dates for higher productivity of Rabi maize – A Review. *International Journal of Recent Scientific Research*. 11. 04: 38267–38271.
- Berzsenyi, Z.: 2009. Studies on the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids II. Plant growth analysis and growth parameters. *Acta Agronomica Hungarica*. 57. 3: 267–276.
- Bojtor, Cs.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Golzardi, F.–Széles, A.–Szabó, A.–Nagy, J.–Marton, Cs. L.: 2022. Nutrient Composition Analysis of Maize Hybrids Affected by Different Nitrogen Fertilisation Systems. *Plants-Basel*. 11: 1593.
- Davidson, H. R.–Campbell, C. A.: 1983. The effect of temperature, moisture and nitrogen on the rate of development of spring wheat as measured by degree days. *Canadian Journal of Plant Science*. 63. 4: 833–846.
- Gamage, D.–Thompson, M.–Sutherland, M.–Hirotsu, N.–Makino, A.–Seneweera, S.: 2018. New sights into the cellular mechanisms of plant growth at elevated atmospheric carbon dioxide concentrations. *Plant Cell Environment*. 41. 6: 1233–1246.
- Gombos B.–Nagy J.: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés*. 68. 2: 5–24.
- Hatfield, J. L.–Prueger, J. H.: 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 10. PartA: 4–10.
- Horváth, É.–Gombos, B.–Széles, A.: 2021. Evaluation phenology, yield and quality of maize genotypes in drought stress and non-stress environments. *Agronomy Research*. 19. 2: 408–422.
- Huzsvai L.–Vincze Sz.: 2013. SPSS-Books. Debrecen. 325.

- Huzsvai, L.-Zsembeli, J.-Kovács, E.-Juhász, Cs.:* 2020. Can technological development compensate for the unfavorable impacts of climate change? Conclusions from 50 years of maize (*Zea mays* L.) production in Hungary. Atmosphere. ISSN 2073-4433. <https://doi.org/10.3390/atmos11121350>
- Jolánkai, M.-Tarnawa, Á.-Horváth, Cs.-Nyárai, H F.-Kassai, M K.:* 2016. Impact of climatic factors on yield quantity and quality of grain crops. Időjárás-Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service 120. 1: 73-84.
- Lobell, D. B.-Roberts, M. J.-Schlenker, W.-Braun, N.-Little, B. B.-Rejesus, R. M.-Hammer, G. L.:* 2014. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest. Science. 344. 6183: 516-519.
- Ma, J.-Jia, X.-Zha, T.-Bourque, C. P. A.-Tian, Y.-Bai, Y.:* 2019. Ecosystem water use efficiency in a young plantation in Northern China and its relationship to drought. Agric. For. Meteorol. 275: 1-10.
- Malo, M.-Ghosh, A.:* 2018. Studies on different agrometeorological indices and thermal use efficiencies of rice in New Alluvial Zone of West Bengal. Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences. 7. 6: 72-78.
- Marton, L. Cs.-Szundy, T.-Pók, I.:* 2005. Effect of the year on the vegetative and generative phases in the growing period of maize. Acta Agronomica Hungarica. 53. 2: 133-141.
- Nagy J.:* 2021. Kukorica. A nemzet aranya - Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest.
- Nemeskéri, E.-Helyes, L.:* 2019. Physiological Responses of Selected Vegetable Crop Species to Water Stress. Agronomy. 9. 8: 447.
- Pepó P.:* 2005. A globális klímaváltozás hatásai és válaszai a Tiszántúl szántóföldi növénytermelésében. „Agro-21” Füzetek. Klímaváltozás - hatások - válaszok. 41: 58-65.
- Pepó P.-Vad A.:* 2017. Hibridspecifikus trágyázás a kukoricatermesztésben. Agrárium. 12: 12.
- Prado, S. A.-Bosquet, L. C.-Grau, A.-Coupel-Ledru, A.-Millet, E.-Tardieu, F.:* 2018. Genetic control of stomatal conductance in maize and conditional effects to water deficit and evaporative demand as revealed by phenomics. 60. Maize Genetics Conference. Saint-Malo. France. al-02736327
- Rani, P. L.-Sreenivas, G.-Reddy, D. R.:* 2012. Thermal time requirement and energy use efficiency for single cross hybrid maize in south Telangana agro climatic zone of Andhra Pradesh. Journal of Agrometeorology. 14. 2: 143-146.
- Rao, V. U. M.-Singh, D.-Singh, R.:* 1999. Heat use efficiency of winter crops in Haryana. Journal of Agrometeorology. 1. 2: 143-148.
- Roy, S.-Meena, R. L.-Sharma, K. C.-Kumar, V.-Chattopadhyay, C.-Khan, S. A.-Chakravarthy, N. V. K.:* 2005. Thermal requirement of oilseed *Brassica* cultivars at different phenological stages under varying environmental conditions. Indian Journal of Agricultural Sciences. 75. 11: 17-21.

- Singh, B.-Kumar, M.-Dhaka, A. K.*: 2018. Relationship of temperature based meteorological indices with phenology and yield performance of wheat as influenced by sowing times. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 7. 3: 230-241.
- Song, H.-Li, Y.-Zhou, L.-Xu, Z.-Zhou, G.*: 2018. Maize leaf functional responses to drought episode and rewatering. *Agricultural and Forest Meteorology*. 249: 57-70.
- Széles, A.-Kovács, K.-Ferencsik, S.*: 2019. The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 123. 3: 265-278.
- Tian, L.-Li, J.-Bi, W.-Zuo, S.-Li, L.-Li, W.-Sun, L.*: 2019. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) Under field conditions. *Agricultural Water Management*. 218. 1: 250-258.
- Wang, C.-Wu, S.-Tankari, M. -Zhang, X.-Li, L.-Gong, D.-Hao, W.-Zhang, Y.-Mei, Y.-Wang, Y.-Liu, F.-Wang, Y.*: 2018. Stomatal aperture rather than nitrogen nutrition determined water use efficiency of tomato plants Thruppoyil under nitrogen fertigation. *Agricultural Water Management*. 209: 94-101.
- Zhou, H.-Zhou, G.-Zhou, L.-Lv, X.-Ji, Y.-Zhou, M.*: 2021. The Interrelationship between Water Use Efficiency and Radiation Use Efficiency under Progressive Soil Drying in Maize. *Front. Plant Sci*. 12: 794409.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Széles Adrienn – Horváth Éva – Zagyi Péter – Ibtissem Balaout – Simon Károly
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*szelesa@agr.unideb.hu

Különböző vetési paraméterek hatása a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus* L.) magtermés mennyiségére 2018-ban

¹TÓTH GABRIELLA - ¹HENZSEL ISTVÁN - ¹GYÖRGYI GYULÁNÉ -
²SÁRVÁRI MIHÁLY
Debreceni Egyetem

¹AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet, Nyíregyháza
²MÉK Növénytudományi Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A fehérvirágú édes csillagfürt magtermés mennyiségét a környezeti, valamint az agrotechnikai tényezők befolyásolják. A vetésidő, a sortávolság és az állománysűrűség hatását a fehérvirágú csillagfürt termésmennyiségére két kísérletben vizsgáltuk. Az első kísérletben három vetésidőt és három sortávolságot (12, 24 és 36 cm sortávolság) és azonos hektáronkénti csíraszámot (350 ezer csíra/ha) alkalmaztunk. A második kísérletben az előzőkkel megegyező vetésidő, sortávolság, valamint három különböző hektáronkénti csíraszám (250 ezer, 350 ezer, 450 ezer csíra/ha) hatását vizsgáltuk. Megállapítottuk, hogy a legnagyobb termésmennyiség – mindkét kísérletben – az első, legkorábbi vetésidőben volt. A termésmennyiséget az azonos csíraszámmal vetett kísérletben elsősorban a vetésidő határozta meg. Az első vetésidőben 12 és 36 cm, második vetésidőben a 12 és 36, valamint a 24 és 36 cm sortávolsággal vetett fehérvirágú édes csillagfürt terméseredménye között igazolódott szignifikáns eltérés. Vizsgáltuk a területegységre vetített eltérő csíraszám és a termés közötti interakciót is. A sortávolság és a területegységre vetített csíraszám meghatározta az egy növényre jutó tenyészterületet, mely befolyásolta a magtermés mennyiségének mértékét. Korai vetésben legkedvezőbbnek a hektáronként 450 ezer csíra, majd a 350 ezer csíra alkalmazása bizonyult, szignifikáns különbség mindössze a 450 és a 250 ezer

csíraszámmal vetett parcellák terméseredménye között volt. A második és harmadik vetésidőben jelentős volt a termésdepresszió, mely a vernalizáció részleges vagy teljes elmaradásával és a csapadékhiánnyal magyarázható.

Kulcsszavak: csillagfürt, vetésidő, csíraszám, termésmennyiség

The effect of sowing parameters on the yield of white lupin (*Lupinus albus* L.) in 2018

¹G. TÓTH - ¹I. HENZSEL - ¹A. GYÖRGYINÉ KOVÁCS - ²M. SÁRVÁRI

University of Debrecen

¹CAS RISF Research Institute of Nyíregyháza, Nyíregyháza

²Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management,
Institute of Crop Sciences, Debrecen

Summary

Sweet, white lupine seed yield is influenced by environmental as well as agrotechnical factors. The effects of sowing date, cultivation area and plant density for the yield of white lupine were studied in two experiments. In the first experiment, 3 sowing dates and 3 row spacings (12, 24 and 36 cm row spacing) were studied with same (350 000 germs ha⁻¹) germ rate. In the second experiment, the same sowing dates and row spacings were used with three different germ rates (250 000, 350 000, 450 000 germs ha⁻¹). We found that the highest yields - in both experiments - were harvested in the first sowing date. The yield in the experiment with the same germ rate was mainly determined by the sowing date. There was a significant difference between the yields of 12 and 36 cm in the earliest sowing date, 12 and 36 cm and 24 and 36 cm in the second sowing date. We also examined the interaction between the different germ rates and the yield. The row spacing and the number of germs determined the cultivation area, which affected the yield. In the earliest sowing date, the application of 450 000 germs per hectare proved to be the most favorable, then there was a significant difference only in the yield of plots sown with 450 000 and 250 000 germs. The yield reduction was significant during the second and third

sowing date, which can be explained by the partial or complete absence of vernalization and the lack of precipitation.

Keywords: lupine, sowing date, number of germs, yield

Bevezetés

2018-ban a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén beállított kísérletünkben arra a kérdésre kerestük a választ, hogy miként befolyásolja a csillagfürt magtermését a vetésidő valamint a tenyészterület módosítása.

A csillagfürt magas fehérje tartalmú takarmánynövény, illetve néhány országban funkcionális élelmiszerekben is jelentős szereppel bír (*Borbély és Borbély 2008*). Termesztésének egyik kardinális pontja a termőterület, a talaj kiválasztása. A sárgavirágú csillagfürt talajigény tekintetében a legigénytelenebb, még akár futóhomokon is terem, ha elegendő csapadék áll rendelkezésre. A fehérvirágú csillagfürt a talajjal szemben a legigényesebb, de a homokos vályogtól a legkötöttebb agyagtalaj is megfelel a termesztésének, azzal a feltétellel, hogy alacsony legyen a mésztartalom (*Németh és Kurnik 1970*). „*A fehérvirágú csillagfürt a kötöttebb, jobb minőségű homokos vályogtalajokon díszik jobban*” (*Borbély 1971*). A csillagfürtöknek tehát a talajjal szemben speciális igényük van, csak savanyú talajokon (4,5–6,5 pH között) termesztethők, és a talaj mésztartalmára érzékenyen reagálnak – különösen a sárgavirágú csillagfürt – 7 pH-jú talajon, vagy 0,2% mésztartalom hatására sárgulás, „mészklorózis” lép fel (*Borbély 2004*). Pangóvizes, magas talajvízszintű, semleges, vagy lúgos, meszet tartalmazó talajokon sikeresen nem termesztethető (*Kutasy 2019*). *Kruppa et al. (2012)* szerint a fehérvirágú csillagfürt termésmennyisége közép-kötött barna erdőtalajokon 1–3,3 t/ha, laza és homoktalajokon (ahol nincs mész) 1–2,9 t/ha, sekély termőrétegű, erodált talajokon 0,8–2,6 t/ha közötti.

A jó kultúrállapotú talaj a csillagfürt számára különösen fontos, mert gyomfertőzött talajon is, a virágzásig majdnem teljesen gyommentes az állomány, majd a nitrogényűjtő gümők lebomlásával, azaz tápanyaggal gazdagítva a talajt, a terület elgyomosodik (*Borbély 1981a*), hosszú a tenyészideje, ugyanakkor a gyomelnyomó képessége kicsi (*Kádár 2013*).

A megfelelő talaj, termőterület kiválasztásával kapcsolatban *Pál et al.* (2021) egy enyhén lúgos, és két savanyú talajon állítottak be kísérletet, melyben a Nelly, fehérvirágú csillagfürtfajta terméskomponenseinek alakulását vizsgálták. Megállapításuk szerint az enyhén savanyú csernozjom talajon termesztett csillagfürt növényenkénti hüvely-, és magszáma, valamint növényenkénti magtömege szignifikánsan nagyobb volt, mint a másik két helyen vetett csillagfürt esetén, valamint ezen a talajtípuson volt a legnagyobb a 9 mm feletti és a legkisebb (3,5–9 mm közötti) magok százalékos aránya is. A maghozam szoros pozitív korrelációt mutatott a legtöbb terméskomponenssel, kivéve az ezermagtömeget, melynél pozitív, de nem erős korrelációt határoztak meg. Megállapították, hogy a fehérvirágú csillagfürt teljesítményét a csapadék mennyisége, eloszlása, valamint a talaj pH-ja jelentősen befolyásolja.

A csillagfürttermesztés eredményességét a termőterület megválasztásán túlmenően a vetés lényegesen befolyásolja. A vetésidővel kapcsolatos hazai szakirodalmak a korai vetés fontosságát hangsúlyozzák, például *Németh és Kurnik* (1970), *Borbély*, (1971) és *Bódis* (1983). *Borbély és Borbély* (2008) a 1959 és 1975 között sárgavirágú csillagfürttel végzett szakaszos vetési kísérlet, valamint 11 év fehérvirágú csillagfürttel végzett kísérlet eredményét összefoglalva megállapította, hogy a vetésidő, nemcsak a termésmennyiséget, hanem a termésbiztonságot is lényegesen befolyásolja, a kettő között szoros negatív kapcsolat van.

A vetőmagmennyiség és sortávolság megválasztására vonatkozóan *Németh és Kurnik* (1970) véleménye szerint „*a hazai klimatikus adottságok mellett a talaj és a növény korai árnyékolása céljából viszonylag sűrű vetés szükséges*”. A szerzők fehérvirágú csillagfürt termesztésekor 40–50 cm sortávolságot, valamint kat. holdanként 90–120 kg, azaz hektáronként 150–200 kg vetőmagmennyiséget javasolnak. *Bódis* (1983) szerint a fehérvirágú csillagfürtöt dupla gabonasortávolságra, 7–9 cm tőtávolságra kell vetni. Ez, kedvezőbb ökológiai feltételek esetén hektáronként 550 ezer, kevésbé optimális körülmények között kevesebb, mint 500 ezer hektáronkénti csíraszámot jelent.

Eltérő csillagfürt fajokkal végzett kísérletek eredményei közül a legtöbb adat keskenylevelű csillagfürtre (*L. angustifolius*) vonatkozóan áll rendelkezésre. *French* (2005) Nyugat-Ausztráliában, négy helyszínen végzett kísérletének

(25, 50, 75, 100 cm sortávolság; 100 kg/ha, illetve egy helyszínen 103 kg/ha vetőmagmennyiség) eredményei azt mutatták, hogy a keskenylevelű csillagfürt szárazanyag termelése általában a hagyományos keskeny sorközöknél a legnagyobb, ugyanakkor ezekben kisebb Harvest index. A hozamingadozás a környezeti tényezőktől függően változott, de kitűnt, hogy alacsonyabb csapadékmennyiségénél a nagyobb sortávolság előnyösebb, kései vetésnél azonban nem ajánlott. A nagy sortávolság hátránya *Bowden* és *Scanlan* (2004) szerint az, hogy gátolja a gyökerek hozzáférését a nehezen felvehető tápanyagokhoz (cit. *Scott et al.* 2013).

Harries et al. (2005) 50, 100, 150 kg/ha vetőmagmennyiség és 25, 50 és 100 cm) sortávolság hatását vizsgálták. Megállapításuk szerint az 50, illetve 100 kg/ha vetőmagmennyiséggel vetett állomány közel hasonló termésmennyiséget adott, a 150 kg/ha vetőmagmennyiség alkalmazásakor termés csökkenés lépett fel. A szerzők kedvezőtlenebb körülmények esetén a magasabb vetőmagmennyiséget javasolták.

Smith et al. (2006) háromsoros parcellákban (60 cm, illetve 20 cm-es sortávolság) eltérő virágzási idejű csillagfürt fajokat, azaz *L. mutabilis*, *L. angustifolius*, *L. luteus* és *L. albus* vonalakat, fajtákat vizsgálták, hogy megállapítsák, miképp befolyásolja a sortávolság e fajokat, fajták növekedését, hozamát, és a terméselemek eloszlását. Eredményeik alapján a sortávolság nem volt hatással a virágzási időre. A nagy sortávolságra (60 cm) vetett növények átlagosan 9 cm-rel voltak magasabbak, mint a kis sortávolságra vetettek (20 cm). Nagy sortávolságon a sorokon belüli kisebb töltávolság hatására nő a fényért való versengés, így fokozódik a fény irányába történő megnyúlás. Ez az eredmény, a szerzők véleménye szerint, összhangban van *Bowden* és *Scanlan* (2005) eredményeivel, miszerint a nagyobb állomány sűrűség általában megnöveli a növény magasságát. Vizsgálataikban a *L. angustifolius* (cv. *Mandlup*), *L. mutabilis* (P26961 vonal) és a *L. luteus* (cv. *Pootallong*, *Acos*, illetve 99D001-21 vonal) esetében lényegesen magasabb maghozamot eredményezett a kis sortávolság alkalmazása, mint a nagyobb sortávolság. Ugyanakkor a *L. albus* cv. *Andromeda* fajtánál a nagyobb sortávolságra vetett állomány adott némileg nagyobb maghozamot.

Noffsinger és *Santen* (1995) a vetésidő, sortávolság (17,5; 35 és 70 cm) és vetőmagnorma (17,5; 35; illetve 52,5 mag/m²) hatását vizsgálta két fehérvirágú csillagfürtfajta (cv. *Primorsky*, és *Ultra*) biomassza és magtermésének

mennyiségére, három helyszínen, homokos vályog talajon (USA). 1991-ben az átlagos magtermés 551 kg/ha volt, és ebben az évben jelentkezett leginkább a vetésidő hatása Közép- és Dél-Alabamában. 1992-ben a hektáronkénti magtermés 604 kg volt. Az eredmények alapján, mind a két évben Észak-Alabamában képződött a legnagyobb mennyiségű biomassza. A szerzők megállapították, hogy egységnyi sortávolság-csökkenés hatására a termésmennyiség 10 kg/ha értékkel nőtt. A vetőmagnorma egységnyi növelését a magtermés hektáronként 19 kg-os növekedése követte. A főtenhely-, és oldalhajtás képzés, valamint a magtermés, és a biomassza tömeg között szoros korreláció mutatkozott ($r < 0,75$), ugyanígy a magtömeg és a Harvest index érték között is ($r < 0,65$). A szerzők megállapították, hogy a magas hozamok feltétele az USA délkeleti részén a tavasszal vetett fehérvirágú csillagfürt esetén a korai vetés, a kis sortávolság és nagy vetőmagnorma alkalmazása.

A csillagfürt termesztésekor a tenyészidőszakra jellemző klimatikus viszonyok maghozamra való hatására, különösen az összes csapadék mennyiségére és eloszlására hívja fel a figyelmet *Podlešna et al.* (2014) és *Panasiewicz et al.* (2018) is. *Panasiewicz et al.* (2018) több éves vizsgálataiban legkedvezőtlenebbnek a 2011-es évet tartotta. Ekkor a csillagfürt vegetatív növekedési periódusában, áprilisban és júniusban magas hőmérsékletet, valamint az adott év április, május, június havában rendkívül alacsony csapadékosszeget regisztrált.

A fehérvirágú csillagfürt fajták között alkalmazkodóképesség és termésstabilitás tekintetében lényeges eltérések vannak. Erre vonatkozóan *Georgieva et al.* (2018) 23 fajtával, *Georgieva és Kosev* (2018) 11, *Gudeta* (2019) 36 fehérvirágú csillagfürtfajtával állított be kísérletet. *Georgieva és Kosev* (2018) 50 tő/m² állománysűrűség hatását vizsgálta az alkalmazkodó képességre és stabilitásra 2014–2016 között 11 fajta esetén. Meghatározta a magtermőképességet és a fő terméskomponenseket [növénymagasság (cm), magasság az első hüvelyig (cm), növényenkénti hüvely- és magszám, növényenkénti magsúly (g), 1000 mag tömeg (g), hüvely hossz (cm), hüvely szélesség (cm)]. A kapott eredmények szignifikáns genotípus–környezet kölcsönhatást mutattak az összes vizsgált tulajdonság esetében (kivéve a hüvely hossza és szélessége). A környezeti stabilitás a genotípus függvényében változott. A legkedvezőbb éjárathatást 2014-ben tapasztalták,

amikor a vegetációs csapadékösszeg 425,8 mm, a napi átlagos levegőhőmérséklet 16,5 °C volt.

Khalimullina et al. (2019) három éves kísérletében Dél-Transz-Urál erdőssztyeppjének kilúgozott csernozjom talaján három vetésidő hatását vizsgálta két fehérvirágú csillagfürtfajta (cv. *Degas*, cv. *Gamma*) terméselemeinek alakulására. Az első vetés időpontját (2015. 04. 30.; 2016. 05. 04.; 2017. 05. 11.) a talaj fizikai állapota határozta meg, a további vetések az időjárási viszonyoktól függően 6–8 nappal utána következtek. Felvételezték a növénymagasságot, meghatározták a növényenkénti tömeget, a növényenkénti hüvelyszámot és tömeget, a növényenkénti magszámot és tömeget, négyzetméterenkénti magtömeget, illetve az ezermagtömeget. Megállapításuk szerint, a vizsgált fajtáknál az első vetésidő volt a legoptimálisabb (április vége – május első dekádja) és kiemelték, hogy a fehérvirágú csillagfürt a 2015-ös év harmadik vetésidejének kivételével, minden évben és vetésidőben elérte a teljes érést. Ez bebizonyította, hogy dél-uráli körülmények között is lehet fehérvirágú csillagfürtöt termesztetni és korai vetéssel 6,6–7,9 t/ha termés érhető el.

Csordás-Tóth és Borbély (2008) a fehérvirágú csillagfürt virágzás-, és termékenyülésbiológiai vizsgálatai során (három vetésidő és 12, 24 vagy 36 cm sortávolság, 20 cm tőtávolság), 2003–2004–2005 év adatai alapján a legkedvezőbb eredményt a korai vetés és a legnagyobb tenyészterület adta (sortávolság: 36 cm). A 2011 és 2012. évben *Tóth* (2013) a 2003–2005 évek konklúzióját alapul véve, a korai vetés és három tenyészterület hatását vizsgálta a terméselemek alakulására. Adatainak összegzése alapján a legnagyobb termést 2004-es év adta, ekkor a tenyészidőszak 2346 °C hőösszeggel 300,2 mm csapadékmennyiséggel volt jellemezhető. Legkedvezőtlenebbnek a 2003-as (a tenyészidőszak csapadékmennyisége 155,4 mm) és a 2011-es év mutatkozott (258,2 mm). A terméselemek variabilitása (a vizsgálati évek átlagában) a következőképpen alakult: a virágszám variabilitása 32,34%, hüvelyszámé 33,74%, a magszámé 44,47% a hüvelyenkénti magszámé 23,03% volt. A termékenyülési százalékos variációs koefficiens értéke viszonylag alacsony, 15,34% volt, ezért ez a tulajdonság genetikailag stabilabbnak tűnik. A legnagyobb termésmennyiséget, hektárra vetítve több mint 4,5 tonna magtermést 2004-ben érték el (*Tóth és Borbély* 2014). A megkésett vetések hatására bekövetkező termésdepresszió az évjáráttól, illetve tenyészterülettől

függően 10–96% közötti volt. Két évben, a kései vetések esetén, bár nagyobb volt a termésmennyiség kis tenyészterületen, mint nagy tenyészterületen, de a termésmennyiség nem érte el 1385 kg/ha mennyiséget, így kitűnt, hogy a tenyészterület változtatása nem képes ellensúlyozni a megkésett vetések negatív hatását.

2017. évi vetésidő, sortávolság illetve állománysűrűség hatását vizsgáló kísérletünkben (Tóth 2018, Tóth és Sárvári 2019) a vetéstől számított két-két hét átlaghőmérséklete a 6,37–15,96 °C között alakult, a csapadékmennyiség az első vetéstől számított két hétben összesen 9,8 mm, a második vetéstől számított két hétben 38,6 mm, a harmadik vetéstől számított két hétben 15,5 mm volt. A termésmennyiség a vetésidők és tenyészterületek függvényében változott, de hektáronként minimum 2 tonna magmennyiséget takarítottunk be. Legkedvezőbbnek a korai vetés bizonyult, a vetésidő hatása statisztikailag igazolt volt. Azonos hektáronkénti csíraszám esetén (350 ezer csíra/ha) a változó sortávolság (12, 24, 36 cm) nem befolyásolta lényegesen a termésmennyiséget, de különböző állománysűrűség alkalmazása esetén (250 ezer, 350 ezer, 450 ezer csíra/ha) a termésmennyiség-eltérések statisztikailag igazoltak voltak. Legnagyobb termést az első vetésidő, legnagyobb állománysűrűségű, hektáronként 450 ezer csírászámmal (12 cm sortávolság) vetett parcellái adták, de nem volt szignifikáns eltérés a némileg alacsonyabb (350 ezer csíra/ha, 24 cm sortávolság) állománysűrűségű parcellák termésmennyiségéhez viszonyítva. Ugyanez igazolódott a második vetésidőben is. Ezek alapján – mivel jelentős terméstöbbletet nem értünk el a csíraszám növelésével –, a legnagyobb termés eléréséhez a 350 ezer hektáronkénti csíraszám elegendőnek bizonyult. Harmadik vetésidőben a 450 ezer csírászámmal vetett parcellák termésmennyisége volt a legkedvezőbb, a termés mennyisége azonban elmaradt a korábbi vetések eredményétől.

Anyag és módszer

A fehérvirágú édes csillagfürt (*Lupinus albus* L. cv. Nelly) magtermés mennyiségére a vetésidő–sortávolság–hektáronként vetett csíraszám hatását három vetésidőt alkalmazva, két párhuzamos kísérlettel a 2017. évi kísérlet metodikájával azonosan vizsgáltuk 2018-ban is a DE AKIT Nyíregyházi Kutatóintézet területén (47° 59' 00" N, 21° 41' 06" E.). A kísérlet talaja

gyengén savanyú (0–30 cm mélységben $\text{pH}_{\text{KCl}}=6,11$); fizikai talajfélesége homokos vályog ($K_A=33$) (Stefanovits 1975). A talaj humusztartalma (1,43 m/m%) alapján a talaj nitrogénellátottsága közepes, a felvehető foszfor- és káliumtartalom (AL-oldható $\text{P}_2\text{O}_5=407$ mg/kg, AL-oldható $\text{K}_2\text{O}=559$ mg/kg), alapján a talaj foszfor- és káliumellátottsága igen jó (Antal 1999).

A két kísérlet jelölésére (Sváb 1981) „A-B” és „X-Y” jelöléseket alkalmaztunk. Az A és X tényező (vetésidő) változatai a két párhuzamos kísérletben: a_1 , a_2 , a_3 , valamint x_1 , x_2 , x_3 . A vetéseket kéthetes vetésidő közökkel végeztük, összesen három vetésidőt alkalmazva. Az első vetés időpontját, mely 2018-ban április 11-én történt, a vetésre alkalmas talajállapot időpontja határozta meg. A sortávolság, illetve a hektáronkénti csíraszám mint tényező jele „B”, illetve „Y” volt. Az „A-B” jelű kísérletben azonos állománysűrűséggel, az „X-Y” kísérletben változó állománysűrűséggel történt a vetés, de a sortávolságok mindkét kísérletben azonosan változtak (12, 24 és 36 cm). Az „A-B” jelölésű kísérlet esetén az alkalmazott csíraszám 350 ezer/ha volt, a sortávolság (B tényező) változatai: b_1 : 12 cm, b_2 : 24 cm, b_3 : 36 cm. Az „X-Y” jelölésű kísérlet esetén az állománysűrűség a sortávolság függvényében (Y tényező) változott, így a vetett csíraszám hektáronként 450 ezer csíra volt 12 cm sortávolságra (y_1), a 350 ezer csíra 24 cm sortávolságra (y_2), illetve 250 ezer csíra 36 cm sortávolságra (y_3).

A könnyebb értelmezhetőség miatt a továbbiakban az azonos csírázámmal vetett kísérletet „A”, a különböző állománysűrűséggel vetett kísérletet „B” betűvel jelöljük. Az „A” és „B” kísérletben a vetésidőket a parcellák jelzésében az első szám, a sortávolságot a második szám jelzi. Az állománysűrűség jelzése a „B” kísérletben a harmadik számmal történik (1. táblázat).

A kísérleteket 4–4 ismétlésben állítottuk be. A parcellaméret 22,1 m² volt. A magtermés parcellánkénti betakarítása 2018. augusztus 14-én történt. A meteorológia adatokat μMetos készülék regisztrálta. Az adatok statisztikai értékelését egy-, illetve kéttényezős varianciaanalízissel végeztük (Sváb 1981).

1. táblázat. A különböző vetési paraméterek, kezelések összefoglaló táblázata
(Nyíregyháza, 2018)

„A” kísérlet (1)	Vetésidő (2)	Sortávolság (cm) (3)	Csírászám/ha (db) (4)
1-12		12	
1-24	1: 2018. 04. 11.	24	
1-36		36	
2-12		12	
2-24	2: 2018. 04. 25.	24	350 000
2-36		36	
3-12		12	
2-24	3: 2018. 05. 09.	24	
3-36		36	
„B” kísérlet (1)	Vetésidő (2)	Sortávolság (cm) (3)	Csírászám/ha (db) (4)
1-12-450		12	450 000
1-24-350	1: 2018. 04. 11.	24	350 000
1-36-250		36	250 000
2-12-450		12	450 000
2-24-350	2: 2018. 04. 25.	24	350 000
2-36-250		36	250 000
3-12-450		12	450 000
3-24-350	3: 2018. 05. 09.	24	350 000
3-36-250		36	250 000

Table 1. Table of different sowing parameters and treatments (Nyíregyháza, 2018). (1) Treatments, (2) Sowing date, (3) Row spacing (cm), (4) Germ rate per hectare

Jelen publikációnkban a 2018. évi eredményeinket, a vetésidő és sortávolság, valamint a vetésidő és állománysűrűség csillagfürt termésmennyiségére gyakorolt hatását mutatjuk be.

A 2018. év tenyészidőszakának meteorológiai adatait a 2. táblázat mutatja. A sokévi átlaghoz képest (Lazányi 1994 és a μ Metos készülék adatai) a 2018 évi havi átlaghőmérsékletek a teljes tenyészidőszakban (04. 11-től 08. 14-ig) 1,40–5,25 °C-kal nagyobbak voltak. A tenyészidőszak csapadékmennyisége, illetve eloszlása nagymértékben befolyásolja a növény növekedését, fejlődését és

a termés mennyiségét. A csillagfürt csapadékigénye a tenyészidőszakban minimálisan 250 mm (Borbély 1981b), de 2018 tenyészidőszakában mindössze 193,3 mm csapadék volt. A tenyészidőszak során a csapadékmennyiség, május kivételével, egyetlen hónapban sem érte el a sokévi átlagos mennyiséget. A csapadék eloszlása viszonylag egyenletes volt (39,6–63, 6mm közötti), kivéve április hónapban, amikor mindössze 22,4 mm eső esett.

2. táblázat. *Havi hőmérsékleti és csapadékadatok alakulása 2018 januárjától a tenyészidőszak végéig, valamint a sokéves átlag (1931–2021) (Nyíregyháza, 2018)*

Hónapok (1)	Átlag-hőmérséklet (°C) (2)	Sokévi átlag-hőmérséklet (°C) (3)	Hőmérsékleti különbségek (°C) (4)	Csapadék-összeg (mm) (5)	Sokévi átlagos csapadék-mennyiség (mm) (6)	Csapadék-többlet vagy csapadék-hiány (mm) (7)
1.	2,33	-2,33	4,67	23,5	32,47	-8,97
2.	0,48	-0,17	0,65	54,6	30,81	23,79
3.	3,42	4,78	-1,36	58,0	28,69	29,31
4.	16,30	11,05	5,25	22,4	39,67	-17,27
5.	19,77	16,22	3,56	63,6	59,37	4,23
6.	21,31	19,46	1,85	58,6	72,69	-14,09
7.	22,58	21,18	1,40	39,6	67,32	-27,72
8.	23,37	20,44	2,93	49,5	57,40	-7,90

Table 2. Monthly temperature and precipitation data from January 2018 until the end of the growing season, and the multi-year average (1931–2021) (Nyíregyháza, 2018). (1) Months, (2) Average temperature (°C), (3) Average temperature between 1931–2021 (°C), (4) Deviation from the multi-year average (°C), (5) Precipitation (mm), (6) Average precipitation between 1931–1992 (mm), (7) Deviation from the multi-year average (mm)

A vegetációs időszak meteorológiai adatait heti bontásban (3. táblázat) – kiemelve a vetések napját – mutatjuk be, ennek oka, hogy a vetést követő 14–16 nap középhőmérséklete határozza meg a vernalizációt, azaz ha a napi középhőmérséklet nem haladja meg a 8–10 °C-ot, akkor végbemegy a vernalizáció, melynek hatására a csillagfürt jól fejlődik és jól termékenyül (Borbély 1981a).

3. táblázat. Főbb meteorológiai adatok 2018 tenyészidőszakában,
 illetve heti átlagai
 (Nyíregyháza, 2018)

2018 tenyészidőszaka dátum és hetek szerint (1)			Léghőmérséklet heti átlaga (°C) (2)	Heti csapadékösszeg (mm) (3)	Léghőmérséklet (°C)	
					Min. (7)	Max. (8)
04. 11.	04. 17.	1.	17,29	1,00	10,24	23,92
04. 18.	04. 24.	2.	17,76	0,00	10,04	23,96
04. 25.	05. 01.	3.	18,89	1,00	10,89	25,35
05. 02.	05. 08.	4.	20,81	0,10	13,74	27,17
05. 09.	05. 15.	5.	19,13	24,70	13,34	25,14
05. 16.	05. 22.	6.	16,87	29,20	12,37	21,43
05. 23.	05. 29.	7.	21,30	9,60	15,10	27,21
05. 30.	06. 05.	8.	22,06	9,50	15,46	28,50
06. 06.	06. 12.	9.	23,33	6,30	17,60	28,69
06. 13.	06. 19.	10.	22,03	7,50	18,04	26,32
06. 20.	06. 26.	11.	18,94	10,30	12,56	25,03
06. 27.	07. 03.	12.	18,50	25,00	12,90	22,79
07. 04.	07. 10.	13.	22,26	1,00	15,37	28,68
07. 11.	07. 17.	14.	21,84	18,30	16,13	27,60
07. 18.	07. 24.	15.	23,13	10,80	18,67	27,68
07. 25.	07. 31.	16.	25,63	9,50	19,66	31,33
08. 01.	08. 07.	17.	24,83	0,00	17,76	32,03
08. 08.	08. 14.	18.	25,03	29,50	17,87	32,09
08. 15.	08. 21.	19.	23,69	0,00	16,37	30,96
08. 22.	08. 28.	20.	21,56	20,00	15,47	28,66
08. 29.	09. 04.	21.	21,39	5,50	14,64	29,31
09. 05.	09. 11.	22.	18,94	2,00	11,57	26,70
09. 12.	09. 18.	23.	18,53	2,00	10,30	27,63

Megjegyzés: a szürke cellák a vetésidőt mutatják.

Table 3. Main meteorological data in the growing season in 2018 (Nyíregyháza, 2018). (1) Vegetation period in 2018, according to dates and number of weeks, (2) Mean temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Air temperature (°C), (7) Minimum, (8) Maximum, Note: grey cells sign the sowing dates. Note: grey cells show the sowing dates

2018. évi adatainkat elemezve kitűnik, hogy bár az április havi átlaghőmérséklet $16,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, az első vetésidőtől számított két hét (04. 11.–04. 24. között) az átlaghőmérséklete nagyobb, $17,52\text{ }^{\circ}\text{C}$, a lehullott csapadék mennyisége $1,00\text{ mm}$ volt. A legkisebb napi középhőmérsékletet 2018. 04. 11-én mértük, értéke $15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt.

A második vetésidő napjától számított két hét (04. 25.–05. 08. között) átlaghőmérséklete $19,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, a csapadékmennyiség $1,1\text{ mm}$ volt, a legkisebb napi középhőmérséklet ebben az időszakban $14,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt (2018. 04. 27-én).

A harmadik vetésidő napjától számított két hét (2018. 05. 09.–05. 22. között) átlaghőmérséklete $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, a csapadékmennyiség $53,9\text{ mm}$ volt, a legkisebb napi középhőmérséklet a harmadik vetésidő napjától számított két hétben $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ volt (2018. 05. 16-án). Összességében mindhárom vetést követő kéthetes időszak átlag, illetve napi középhőmérséklete jóval meghaladta a csillagfürt vernalizációjához szükséges hőmérsékletet, és a harmadik vetésidő kivételével, a csapadék sem volt elegendő az optimális csírázáshoz.

Eredmények

2018-ban végzett vetésidő–sортávolság (azonos csíraszám), illetve vetésidő–állománysűrűség (változó csíraszám) kísérleteinkben a parcellánkénti termésmennyiség $0,00\text{--}3,04\text{ kg}$ között alakult, mivel termés a harmadik vetésidőben nem volt (4. és 6. táblázat). Ez, véleményünk szerint, a harmadik vetést követő $16\text{--}19\text{ }^{\circ}\text{C}$ -os kéthetes átlaghőmérsékletnek, és a vetést követő gyors felmelegedésnek, illetve a vegetációs időszak csapadékhiányának következménye. Az első két vetésidőt tekintve, mind azonos hektáronkénti csíraszám alkalmazása esetén („A” kísérlet), mind különböző állománysűrűség (hektáronkénti csíraszám) alkalmazásakor („B” kísérlet) a parcellánkénti magmennyiség nagymértékben változott, ugyanakkor a termésmaximum egy hektárra vetítve $1,37\text{ tonna}$ volt (az „A” kísérlet, „1-12” kezelésében).

A vetésidő és tenyészterület hatása a termésmennyiségre azonos hektáronkénti csíraszám alkalmazásakor („A” kísérlet)

Az első vetésidőben a termésmennyiség azonos állománysűrűség (350 ezer csíra/ha) alkalmazása esetén parcellánként átlagosan $2,79\text{ kg}$ ($1131,22\text{--}1374,43\text{ kg/ha}$) volt (4. táblázat). A $12\text{ és }36\text{ cm}$ сортávolságra vetett állományok

termésmennyisége között varianciaanalízis alapján szignifikáns különbség igazolódott P=10%-os szinten. A 12 cm sortávolsághoz képest a nagyobb sortávolságok alkalmazása esetén 7,0; illetve 17,7% termés-csökkenést tapasztaltunk.

4. táblázat. A vetésidő és sortávolság hatása a fehérvirágú édes csillagfürt termésmennyiségére, azonos hektáronkénti csíraszám alkalmazása esetén (2018)

Keze- lések (1)	Termésmennyiség (2)		Terméscsökkenés mértéke (%) (5)		Vetésidők átlaga (8)		Termés- csökkenés mértéke (%) (5)
	kg/ parcella (3)	kg/ha (4)	Viszonyí- tási alap a legkisebb sortávolsá- gú (12 cm) kezelések (6)	Viszonyí- tási alap az "1-12" kezelés (7)	kg/ parcella (3)	kg/ha (4)	Viszonyí- tási alap az 1. vetésidő (9)
1-12	3,040	1374,43					
1-24	2,830	1278,28	-7,00	-7,00	2,79	1261,31	
1-36	2,500	1131,22	-17,70	-17,70			
SzD _{10%}	0,380	171,95					
2-12	0,250	115,27		-91,61			
2-24	0,090	39,14	-66,04	-97,15	0,12	52,87	-95,81
2-36	0,009	4,19	-96,37	-99,70			
SzD _{5%}	0,160	72,40					
3-12	0,000	0,00		-100,00			
3-24	0,000	0,00		-100,00	0,00	0,00	-100,00
3-36	0,000	0,00		-100,00			

Megjegyzés: SzD_{5%} 0,17 kg/parcella, 76,92 kg/ha, vagy bármely két kombináció 0,30 kg/parcella, 135,75 kg/ha.

Table 4. The effect of sowing date and row spacing (b) on the yield of white lupin cv. *Nelly* with the same sowing rate (2018). (1) Treatment, (2) Yield, (3) Kilogram per plot, (4) Kilogram per hectare, (5) Reduction of yield (%), (6) Compared to 12 cm row spacing experiments, (7) Compared to „1-12” experiment, (8) Average yield of sowing date, (9) Compared to the first sowing date, Note: LSD_{5%} 0.17 kg/plot, 76.92 kg/ha, or any of the two combinations 0.30 kg/plot, 135.75 kg/ha.

A második vetésidőben a kezelések átlagában 0,12 kg magtermés volt parcellánként (52,87 kg/ha). Ebben a vetésidőben is a legkisebb sortávolság bizonyult a legkedvezőbbnek (115,27 kg/ha), és a sortávolság növelése 66,04; illetve 96,37% termésdepressziót okozott. Ugyanakkor az első vetésidő magterméséhez képest rendkívül nagy, átlagosan több mint 95%-os volt a terméskiesés.

A harmadik vetésidőben magtermés nem volt.

Az adatokat kéttényezős kísérletként értékelve (5. táblázat), azonos hektáronkénti csíraszám (350 ezer csíra/ha) alkalmazása esetén, az eltérő vetésidők hatása a magtermés mennyiségének alakulására $P=0,1\%$ -os valószínűségi szinten, a sortávolságok hatása $P=5\%$ -os valószínűségi szinten szignifikáns, a különbségek statisztikailag igazoltak, azaz a magtermés mennyiségét egyaránt szignifikánsan befolyásolta a vetésidő ($P=1\%$) és a sortávolság is ($P=5\%$).

5. táblázat. Csillagfürt termésmennyiségének varianciatáblázata eltérő sortávolságok és azonos hektáronkénti csíraszám alkalmazásakor (2018)

Tényező (1)	SQ	FG	MQ	Szignif. szint, P (9)
Összes (2)	61,67	35		
Ismétlés (3)	0,31	3		
Kezelés (4)	60,38	8	7,55	***
Vetésidő (5)	59,67	2	29,83	***
Sortávolság (6)	0,41	2	0,20	*
Vetésidő×sortávolság (7)	0,30	4	0,08	NS
Hiba (8)	1,01	24	0,04	

Table 5. Statistical analysis of lupin yield with the same sowing rate and row spacing (2018). (1) Factor, (2) Total, (3) Replication, (4) Treatment, (5) Sowing date, (6) Row spacing, (7) Interaction of sowing date×row spacing, (8) Error, (9) Significance level, P

A vetésidő és tenyészterület hatása a termésmennyiségre eltérő állománysűrűség alkalmazásakor („B” kísérlet)

A sortávolság és a területegységre vetített csíraszám egyszerre történő változtatásával célunk meghatározni az optimális tőszám és produkció közötti összefüggés szorosságát. Eredményeink szerint eltérő állománysűrűség

alkalmazásakor a legkedvezőbbnek a korai vetés, 12 cm sortávolság és a hektáronkénti 450 ezer csíraszám alkalmazása bizonyult („1-12-450” kezelés) 2,31 kg parcellánkénti termés mennyiséggel (1046,38 kg/ha) (6. táblázat).

6. táblázat. A vetésidő és tenyészterület hatása a termés mennyiségre, eltérő hektáronkénti csíraszám alkalmazása esetén (2018)

Keze- lések (1)	Termésmennyiség (2)		Terméscsökkenés mértéke (%) (5)		Vetésidők átlaga (8)		Termés- csökkenés mértéke (%) (5)
	kg/ parcella (3)	kg/ha (4)	Viszonyí- tási alap a „12- 450” kezelés (6)	Viszonyí- tási alap az "1-12- 450" kezelés (7)	kg/ parcella (3)	kg/ha (4)	Viszonyí- tási alap az 1. vetésidő (9)
1-12-450	2,31	1046,38					
1-24-350	1,99	899,32	-14,05	-14,05	1,90	861,61	
1-36-250	1,41	639,14	-38,92	-38,92			
SzD _{1%}	0,63	285,06					
2-12-450	0,20	89,37		-91,46			
2-24-350	0,06	27,94	-96,89	-97,33	0,09	39,39	-95,43
2-36-250	0,002	0,86	-99,90	-99,91			
SzD _{10%}	0,13	58,82					
3-12-450	0,00	0,00		-100,00			
3-24-350	0,00	0,00		-100,00	0,00	0,00	-100,00
3-36-250	0,00	0,00		-100,00			

Megjegyzés SzD_{5%}: bármely két kombináció között 0,22 kg/parcella, 99,55 kg/ha.

Table 6. The effect of sowing date and growing area on the yield of white lupin with different sowing rates (2018). (1) Treatment, (2) Yield, (3) Kilogram per plot, (4) Kilogram per hectare, (5) Reduction of yield (%), (6) Compared To „12-450” experiment, (7) Compared To „1-12-450” experiment, (8) Average yield of sowing date, (9) Compared to the first sowing date, Note: LSD_{5%} 0.22 kg plot⁻¹, 99.55 kg ha⁻¹

Ennél jóval kevesebb termést értünk el az „1-24-350” kezelésben, azaz a korai vetésben, 24 cm sortávolság alkalmazása esetén, 350 ezer hektáronkénti csíraszámmal vetett parcellákban (1,99 kg/parcella; 899,32 kg/ha). A harmadik vetésidőben termés gyakorlatilag nem volt.

2018. évi adataink alapján, az első vetésidő, 12 cm sortávolságra, 450 ezer hektáronkénti csíraszámmal vetett parcelláinak termésmennyiségéhez képest, mind eltérő csíraszám, mind a vetés későbbre tolódása esetén jelentős, 14-100% közötti volt a terméskiesés.

Az azonos állománysűrűségű parcellák terméseredményét a különböző vetésidőkben összehasonlítva (7. táblázat) kitűnik, hogy mindhárom állománysűrűség esetén a legnagyobb termést az első vetésidő adta, ezek közül a legtöbb termést a 12 cm sortávolságra, hektáronként 450 ezer csíraszámmal vetett parcellákban mértük.

7. táblázat. Vetésidő hatása a csillagfürt termésmennyiségének alakulására különböző állománysűrűségeken (2018)

Kezelés (1)	Termésmennyiség (2)		Terméscsökkenés mértéke az első vetésidőhöz viszonyítva eltérő állománysűrűség esetén (5)
	kg/parcella (3)	kg/ha (4)	
1-12-450	2,31	1046,38	
2-12-450	0,20	89,37	-91,46
3-12-450	0,00	0,00	-100,00
SzD _{0,1%} (6)	0,65	294,12	
1-24-350	1,99	899,32	
2-24-350	0,06	27,94	-96,89
3-24-350	0,00	0,00	-100,00
SzD _{0,1%} (6)	0,78	352,94	
1-36-250	1,41	639,14	
2-36-250	0,002	0,86	-99,87
3-36-250	0,00	0,00	-100,00
SzD _{0,1%} (6)	0,34	153,85	

Table 7. The effect of sowing date on the yield of white lupin with different sowing rates (2018). (1) Treatment, (2) Yield, (3) Kilogram per plot, (4) Kilogram per hectare, (5) Reduction of yield compared to first sowing date in different sowing rates, (6) LSD_{0,1%}

Az azonos állománysűrűségű parcellák esetén az első vetésidő termésmennyisége, minden esetben, statisztikailag igazoltan ($P=0,1\%$ szinten), meghaladta a második és harmadik vetésidő termésmennyiségét. A vetés későbbre tolódása minden állománysűrűség esetén jelentős, 91% feletti terméskiesést okozott, a harmadik vetésidő esetén a termésdepresszió 100% volt.

Az adatokat kéttényezős kísérletként értékelve, sem az eltérő vetésidők, sem az eltérő állománysűrűség hatása a magtermés mennyiségének alakulására nem volt szignifikáns (8. táblázat), ugyanakkor a kezeléskombináció hatása, azaz az „vetésidő×állománysűrűség kölcsönhatás” statisztikailag igazolt.

8. táblázat. Csillagfürt termésmennyiségének varianciatáblázata eltérő sortávolságok-eltérő hektáronkénti csíraszám alkalmazásakor (2018)

Tényező (1)	SQ	FG	MQ	Szignif. szint, P (9)
Összes (2)	30,07	35		
Ismétlés (3)	0,03	3		
Kezelés (4)	29,48	8	3,69	***
Vetésidő (5)	27,74	2	13,87	NS
Állománysűrűség (6)	0,81	2	0,40	NS
Vetésidő×állománysűrűség kölcsönhatás (7)	0,94	4	0,23	***
Hiba (8)	0,55	24	0,02	

Table 8. Statistical analysis of lupin yield with different sowing rates (2018). (1) Factor, (2) Total, (3) Replication, (4) Experiment, (5) Sowing date, (6) Germ rate, (7) Interaction of sowing date×germ rate, (8) Error, (9) Significance level, P

Következtetések

A 2018. évi kísérletünk a fehérvirágú csillagfürt vetésidő érzékenységét igazolta. A legnagyobb termésmennyiséget mind azonos, mind eltérő állománysűrűséggel vetett parcellák esetén korai vetésidőben értük el.

Az azonos állománysűrűséggel vetett parcellák esetén mind a vetésidő, mind a sortávolság hatása a termésmennyiség alakulására statisztikailag igazolt volt.

A különböző állománysűrűséggel vetett parcellák esetén a vetésidő és az állománysűrűség kölcsönhatása szignifikánsnak bizonyult. Korai vetésben

legkedvezőbb a 450 ezer hektáronkénti csíraszám alkalmazása volt, az állománysűrűség csökkentése statisztikailag igazoltan 14, illetve 39%-kal csökkentette a magtermés mennyiségét. A második vetésidőben termésmennyiség tekintetében a legkedvezőbbnek szintén a 450 ezres hektáronkénti csíraszám bizonyult, de a kedvezőtlen ökológiai viszonyok miatt a hektáronkénti termésmennyiség nem érte el a 90 kg-t (a termés kiesés 91,4–99,9%). A harmadik vetésidőben a termésdepresszió 100% volt, melynek oka, véleményünk szerint, a harmadik vetés utáni két hétben mért, a vernalizáció hőigényét jóval meghaladó hőmérséklet, illetve a tenyészidőszak csapadékhiánya. Eredményeinkből kitűnt, hogy a vetésidő hatása lényegesen nagyobb, mint a többi vizsgált agrotechnikai tényező hatása. Megállapítható, hogy a nagyobb csíraszám sem mérsékli a kései vetések okozta termésdepressziót.

Összegzés

A vetésidő, sortávolság és azonos, illetve különböző állománysűrűség hatását vizsgáló kísérleteinkben a legkorábbi vetésidőben volt a legnagyobb a fehérvirágú csillagfürt termésmennyisége. Az azonos hektáronkénti csíraszám (350 ezer csíra/ha) alkalmazása esetén a különböző sortávolságok hatása $P=5\%$ -os szinten szignifikáns volt, azonban a vetésidő szerepe jelentősebbnek bizonyult ($P=0,01\%$). A vetés 14, illetve 28 napos késleltetésének hatására átlagosan 95,81–100% volt a termésdepresszió. Eltérő hektáronkénti csíraszám és sortávolság esetén a termésnövekedés mértéke a második és harmadik vetésidőben 95,43; illetve 100% volt. Megállapítható, hogy az optimális időben 350 ezer hektáronkénti csíraszámmal történő vetés terméseredményét lényegesen alulmúlja a 2, illetve 4 héttel későbbi vetések maghozama, akár megnövelt (450 ezer csíra/ha) csíraszám alkalmazása esetén is. E kísérletek eredményei is a csillagfürt, mint magas fehérjetartalmú takarmánynövény termesztésének egyik kardinális pontjára, a vetés időpontjának megválasztására hívják fel a figyelmet. Az optimálishoz képest megkésett vetések által okozott termésnövekedést a nagyobb hektáronkénti csíraszám sem kompenzálja.

IRODALOM

- Antal J.*: 1999. A szántóföldi növények trágyázása. [In: Füleky Gy. (szerk.) Tápanyaggazdálkodás.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 295–366.
- Bódis L.*: 1983. Az abrakhüvelyesek termesztése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 242.
- Borbély F.*: 1971. Csillagfürt termesztése és felhasználása. Vetőmag Vállalat. 29.
- Borbély F.*: 1981a. Csillagfürt (*Lupinus sp.*) [In: Szabó S. (szerk.) Szántóföldi növények vetőmagtermesztése és fajtahasználata.] Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 405–426.
- Borbély F.*: 1981b. A fehérvirágú édes csillagfürt magtermesztésének technológiája. Vetőmagtermeltető és Értékesítő Vállalat. Budapest. 21.
- Borbély F.*: 2004. Csillagfürt. [In: Izsáki Z.–Lázár L. (szerk.) A szántóföldi növények vetőmagtermesztése és kereskedelme.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 374–385.
- Borbély F.–Borbély I.*: 2008. Klímaváltozás–Mezőgazdaság–Nemesítés–Kutatás. Csillagfürtfajok (*Lupinus sp. L.*) néhány kvantitatív és kvalitatív tulajdonságainak alakulása az időjárás függvényében. [In: Iszállyné Tóth J. (szerk.) A klímaváltozás és a növény-nemesítés.] DE AMTC Kutató Központ. Nyíregyháza. 117–142.
- Csordás T. G.–Borbély F.*: 2008. Klimatikus viszonyok hatása a fehérvirágú édes csillagfürt (*Lupinus albus L.*) termékenyülésére. [In: Kiss J.–Heszky L. (szerk.) XIV. Növény-nemesítési Tudományos Napok. Összefoglalók.] MTA. Budapest. 115.
- French, B.*: 2005. How environment influences row spacing response in lupins. *Agribusiness Crop Updates 2005*. 26–29.
- Georgieva, N. A.–Kosev, V. I.*: 2018. Adaptability and Stability of White Lupin Cultivars. 9: 72–83.
- Georgieva, N. A.–Kosev, V. I.–Genov, N. G.–Butnariu, M.*: 2018. Morphological and biological characteristics of white lupine cultivars (*Lupinus albus L.*). *Romanian Agricultural Research*. 35: 109–119.
- Gudeta, T. B.*: 2019. Genetic Variability, Heritability and Genetic Advance for Some Yield and Yield Related Traits Among 36 Ethiopian White Lupine (*Lupinus albus L.*). Genotypes, Food Science and Quality Management. 86.
- Harries, M.–French, B.–Owenand, D'arcy, D.*: 2005. Lupin seed rate by wide row spacing. *Agribusiness Crop Updates 2005*. 22–26.
- Kádár A.*: 2013. Lóbab és csillagfürt. [In Kádár A. (szerk.) Vegyszeres gyomirtás és gyomszabályozás. Negyedik átdolgozott, bővített kiadás.] 336–343.
- Khalimullina, A. A.–Sozinov, A. V.–Porsev, I. N.–Subbotin, I. A.*: 2019. Productivity of white lupine (*Lupinus albus L.*) in different sowing periods in the conditions of the Southern Trans-Urals. [In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.] 341. 1: DOI:10.1088/1755-1315/341/1/012089

- Kruppa J.-Kuroli G.-Németh L.-Reisinger P.-Csathó P.-Árendás T.-Németh T.-Fodor N.*: 2012. Csillagfürt. [In: Divéky et al. (szerk.) Fenntartható szemléletű szántóföldi növénytermesztés 2.] Agroinform Kiadó. Budapest. 343-355.
- Kutasy E.*: 2019. Csillagfürt. [In: Pepó P. (szerk.) Integrált növénytermesztés 3. Alternatív növények.] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 101-110.
- Lazányi J.*: 1994. A homokjavító vetésforgókkal végzett kísérletek eredményei. Debreceni Agrártudományi Egyetem Kutató Központja. Nyíregyháza. 238.
- Németh Gy.-Kurnik E.*: 1970. A csillagfürt (*Lupinus* sp. L.). [In: Kurnik E. (szerk.) Étkezési és abraktakarmány- hüvelyesek termesztése.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 417-453.
- Noffsinger, S. L.-van Santen, E.*: 1995. Yield and yield components of spring-sown white lupin in the southeastern USA. *Agronomy Journal*. 87. 3: 493-497.
- Pál, V.-Basal, O.-Erdős, Zs.-Veres, Sz.-Zsombik, L.*: 2021. Yield and Yield Components of White Lupine under Different Ecological Conditions. *Journal of Tekirdag Agricultural Faculty*. 18. 4: 730-738.
- Panasiewicz, K.-Agnieszka Faligowska, A.-Szymańska, G.-Kozłara, W.-Szukata, J.-Poniatowska, J.*: 2018. Yielding of narrow-leaved lupin depending on varieties, sowing method and sowing rate. *Fragm. Agron.* 35. 1: 72-80.
- Podleśna, A.-Podleśny, J.-Doroszewski, A.*: 2014. Usefulness of selected weather indices to evaluation of yellow lupine yielding possibility. *Agric. Water Manag.* 146: 201-207.
- Scott, B. J.-Martin, P.-Riethmuller, G. P.*: 2013. Row spacing of winter crops in broad scale agriculture in southern Australia. 94.
- Smith, L. D. J.-Adhikari, K.-Clements, J. C.-Guantini, P.*: 2006. Response of crop lupin species to row spacing. *Crop Updates 2006. Lupins and Pulses*. Perth. Western Australia. 50-54.
- Stefanovits P.*: 1975. Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 351.
- Sváb J.*: 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 557.
- Tóth G.*: 2013. Újabb adatok a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus* L.) virágzás- és termékenyülésbiológiájához. MTA Agrártudományok Osztálya Növénynemesítési Tudományos Bizottság. Budapest. 145.
- Tóth G.*: 2018. A csillagfürt termesztésének hatékonysága a vetésidő és a vetőmagmennyiség függvényében. [In: Dinya L.-Csernák J. (szerk.) XVI. Nemzetközi Tudományos Napok.] Líceum Kiadó. 254.
- Tóth G.-Borbély F.*: 2014. A vetésidő és a tenyészterület hatása a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus* L.) termésére nyírségi savanyú barna erdőtalajon. *Acta Agraria Debreceniensis*. 56: 133-137.
- Tóth G.-Sárvári M.*: 2019. Különböző vetési paraméterek hatása a fehérvirágú csillagfürt (*Lupinus albus* L.) magtermés mennyiségére. *Növénytermelés*. 68. 2: 69-88.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Tóth Gabriella - Henzsel István - Györgyi Gyuláné
Debreceni Egyetem AKIT
Nyíregyházi Kutató Intézet
Nyíregyháza
Westsik V. u. 4-6.
H-4400
*toga@agr.unideb.hu

Dr. Sárvári Mihály
Debreceni Egyetem MÉK
Növénytudományi Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032

Kalászosok vízigényének és vízhasznosító képességének meghatározása tudományos szabadföldi liziméterekben

VARGA BALÁZS – VEISZ OTTÓ

Agrártudományi Kutatóközpont

Mezőgazdasági Intézet, ELKH, Martonvásár

Összefoglalás

A globális klímaváltozás regionális hatási közül a szélsőséges időjárási helyzetek, így a tartósan súlyos aszály egyre gyakoribb kialakulása prognosztizálható. A rendelkezésre álló felszíni és felszín alatti vízkészletek hatékony felhasználása stratégiai fontosságú. A vízmegőrzést célzó termesztéstechnológiák eredményességéhez olyan növényfajokra és fajtákra van szükség, melyek hatékonyan képesek a víztartalékok felhasználására. Az Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézet szántóföldi liziméter rendszerében két egymást követő évjáratban vizsgáltunk őszi búza-, őszi árpa- és őszi zabfajtákat és a március 1-től az érésig tartó időszakban mértük a növényállományok vízfogyasztását. A szemtermés és a tenyészidőszaki vízfelvétel alapján számítottuk a vízhasznosító képességet. A fajták közül az Mv Hópehely őszi zabfajta, az Mv Nemere és az Mv Kolompos őszi búzafajták vízhasznosító képessége nem különbözött a két évjáratban, a legkedvezőbb értékeket az Mv Nemerénél kaptuk 2,21 és 2,16 kg/m³ értékkel. Az Mv Nádor vízfelhasználása és termésszintje is magasabb volt a 2020/2021-es évjáratban, viszont a vízfelhasználásának a hatékonysága is javult magasabb termésszinten. A rövid tenyészidejű fajtáknál tapasztaltuk a legnagyobb variabilitást. Kedvező évjáratban a magasabb termésszint nagyon kedvező 2,53 és 2,87 kg/m³ vízhasznosítást eredményezett az Mv Ikva őszi búzánál és az Mv Initium őszi árpafajtánál azonban szárazabb évjáratban mindkét faj vízhasznosítása jelentősen visszaesett, viszont az őszi árpák kedvezőtlenebb körülmények között is meghaladta a 2 kg/m³-t.

Kulcsszavak: klímaváltozás, aszály, őszi búza, termőképesség, élelmiszer-biztonság

Determination of water demand and water-use efficiency of ear cereals in scientific field lysimeters

B. VARGA – O. VEISZ
Agricultural Research Centre
Agricultural Institute, ELKH, Martonvásár

Summary

Among the regional impacts of global climate change, extreme weather events such as persistent severe drought are projected to become more frequent. Efficient use of available surface and groundwater resources is of strategic importance. The effectiveness of crop management techniques for water conservation requires crop species and varieties that are able to use water efficiently. In the Field Lysimeter System of the Agricultural Institute of the Agricultural Research Centre, we studied winter wheat, winter barley and winter oats in two consecutive seasons and measured the water consumption of the crops from 1 March to maturity. Water use efficiency was calculated from grain yield and water uptake during the growing season. Among the examined varieties, the water use capacity of the winter oat variety Mv Hópehely and winter wheat varieties Mv Nemere and Kolompos did not differ between the two years, with the most favourable values obtained for Mv Nemere with 2.21 and 2.16 kg m³ respectively. Mv Nádor also had higher water use and yield levels in the 2020/2021 crop year, but its water use efficiency also improved at higher yield levels. The highest variability was observed in short duration varieties. In favourable years, higher yield levels resulted in very favourable water use rates of 2.53 and 2.87 kg m³ for winter wheat Mv Ikva and winter barley Mv Initium, respectively, but in drier years, both species showed a significant decrease in water use efficiency, while winter barley exceeded 2 kg m³ even in less favourable conditions.

Keywords: climate change, drought, winter wheat, productivity, food security

Bevezetés

A Kárpát-medence a klímaváltozás szempontjából Európában az egyik legsérülékenyebb területnek számít (*Pieczka et al. 2009*). Az éghajlatváltozás kimutatott és várható hatásai közül a Kárpát-medencében a szélsőséges vízellátottságú időszakok hosszának és intenzitásának lesz a legjelentősebb hatása a mezőgazdaságra, azon belül is a szántóföldi növénytermesztésre (*Fodor és Pásztor 2010*). Napjainkban az aszály az egyik legfontosabb abiotikus stresszfaktor, amely jelentősen csökkentheti a produkciót és akár a termőterületek 90%-át is érintheti. Lokálisan a termés kiesés akár a 100%-os is lehet. Számos kutatás igazolta, hogy nem csupán a termesztett fajok szárazságtűrése, hanem fajon belül a fajták, hibridek környezeti stresszhatásokkal szembeni ellenállósága is különbözik (*Farkas et al. 2021*). Kiemelkedő jelentőségű a stressz-toleráns genotípusok termesztése, azonban egyre fontosabb szempont, hogy a szélsőséges körülmények tolerálása mellett a termesztett fajták hatékonyan hasznosítsák elsősorban a talajban rendelkezésre álló vízkészleteket (*Varga et al. 2017*). Kidolgozásra kerültek víztakarékos és a talaj vízkészletének megőrzését célzó talajművelési rendszerek, melyek csak akkor lehetnek hatékonyak, ha a termesztett növény is a lehető legoptimálisabban hasznosítja a rendelkezésre álló vizet (*Birkás 2020*).

A vízhasznosító képesség fontos mérőszám, hiszen a szén- és vízforgalom közötti kapcsolatra világít rá, ezáltal az aszálytűrő képesség indikátora (*Farkas et al. 2020*). A vízhasznosító képesség számszerűsítése fontos a klímaváltozásra adott növényi válaszok vizsgálatában, mely mérőszám a fajták között jelentős különbséget mutat és számos környezeti tényező befolyásolja (*Ullah et al. 2019*). A vízhasznosító képesség számos módon jellemezhető, azonban gyakorlatorientált kutatási szemlélet a szemtermés és a vízfelhasználás hányadosaként kapott mérőszámot tekinti irányadónak.

A kutatásunk célja az volt, hogy egy újonnan létesített szántóföldi súly-liziméter rendszerben megvizsgáljuk az őszi vetésű gabonák vízfelhasználásának dinamikáját az intenzív növekedés időszakában, valamint meghatározzuk az egyes fajok és fajták vízhasznosító képességét.

Anyag és módszer

Kutatásunkat az Agrártudományi Kutatóközpont Mezőgazdasági Intézetben végeztük Martonvásáron, két egymást követő tenyészidőszakban (2019/2020 és 2020/2021). Mindkét évben október második felében vetettünk el négy, különböző éréscsoportba tartozó őszi búzafajtát (Mv Ikva, Mv Nádor, Mv Nemese és Mv Kolompos), egy korai őszi árpafajtát (Mv Initium) és egy késői érésű őszi zabfajtát (Mv Hópehely) kísérleti liziméterekben (Meter Group AG, Németország) 4,5 millió csíra/hektár csíraszámával, melyet a liziméter hengerek 1 m²-es felszínéhez arányosítottunk. A liziméterek környezetébe Mv Initium tavaszi árpát vetettünk, így a mérések állományban, a szegélyhatás kiküszöbölésével történtek. A növényállomány vízforgalomra gyakorolt hatásainak számszerűsítéséhez kontroll, növényeket nem tartalmazó, gyommentes lizimétert is bevontunk a kísérletbe. A 2 m mély liziméter hengerek a területre jellemző, bolygatatlan csernozjom talajt tartalmaztak, melybe a vetés előtt alaptrágyaként 40 kg/ha hatóanyag dózissal megfelelő nitrogént (Pétisó, 27% N) dolgoztunk be. Fejtrágyaként március elején újabb 30 kg/ha nitrogén hatóanyagot juttattunk ki. A gyomokat a tenyészidőszakban kézzel távolítottuk el.

A liziméter egységek nagy érzékenységgű mérlegeken (érzékenység 0,1 mm csapadék egyenérték) helyezkedtek el, melyek percenként rögzítették a hengerek tömegét. A liziméter egységekhez kiegészítő tartályok csatlakoznak, melyek között a vízáramlást kétirányú görgős szivattyúk szabályozzák a rendszer közelében a szabadföldön elhelyezett referencia-tenziométerek adatai alapján. A kiegészítő tartályok tömegét is folyamatosan mérlegek mérik és az adatokat a központi adatgyűjtő egység tárolja. A hengerekben található növényállományok evapotranspirációját a március 1-től az érésig tartó időszakban vizsgáltuk. A hengerek napi vízvesztését (ET_{Napi}) az alábbi egyenlettel számítottuk:

$$ET_{Napi} = \Delta T_{Liziméter} + \Delta T_{Kiegészítő\ tartály} - Csapadékösszeg$$

ahol, az ET_{Napi} a napi evapotranspiráció, a $\Delta T_{Liziméter}$ a liziméter henger napi súlyváltozása a nap első és utolsó órájának átlagadati alapján, a $\Delta T_{Kiegészítő\ tartály}$ a kiegészítő tartály súlyváltozása a napi első és utolsó mérés eredményei alapján.

A vizsgálati időszakban a teljes vízfogyasztást (ΣET) a napi ET-k összegzéseként számítottuk. A csapadékot a liziméter állomás mellett található, az OMSZ rendszerébe tartozó meteorológiai állomás rögzítette (1. táblázat).

1. táblázat. A csapadék havi összegei a tenyészidőszakokban (mm)

Tenyész- időszak (1)	Nov. (2)	Dec. (3)	Jan. (4)	Febr. (5)	Márc. (6)	Ápr. (7)	Máj. (8)	Jún. (9)
2019/2020	74,4	61,9	14,1	19,5	33,2	5,7	32,3	81,8
2020/2021	19,8	27,7	10,5	38,1	2,8	35,4	67,7	3,5

Table 1. Monthly rainfall amounts in the growing seasons (mm). (1) Growing season, (2) November, (3) December, (4) January, (5) February, (6) March, (7) April, (8) May, (9) June

A teljes érést követően a liziméterekben fejlődött növényeket a talajszintben ollóval elvágva betakarítottuk és meghatároztuk a teljes száraz biomassza-produkciót. A kalászkok cséplése után 0,1 gramm pontossággal mértük a szemtermést liziméterenként.

A vízhasznosító képességet (WUE) a képződött szemtermés és a tenyészidőszaki vízfogyasztás hányadosaként számítottuk:

$$WUE = \frac{\text{Termés (kg)}}{\Sigma ET (m^3)}$$

ahol, a WUE a vízhasznosító képesség (kg/m^3), a ΣET a tenyészidőszaki vízfelhasználás.

A biológiai növénykonstanst (K_b) az alábbi egyenlet szerint számoltuk ki:

$$K_b = \frac{ET_{akt}}{E_{akt}}$$

ahol K_b a biológiai növénykonstans, ET_{akt} az aktuális evapotranspirációt (mm) és E_{akt} az aktuális evaporációt (mm) jelöli.

Eredmények

A liziméterekben mindkét évben az Mv Initium őszi árpa termése volt a legmagasabb, viszont a 2020/2021-es tenyészidőszak kedvezett a korai fajták termesztésének is (1. ábra).

Az Mv Nádor kivételével a középérésű és kései fajták termésében nem volt különbség a két évjárat között. Az első tenyészidőszakban (2019/2020) a búzafajták közül az Mv Nemere termett a legtöbbet, az Mv Nádor és Mv Kolompos fajták terméspotenciálja közel azonos volt. A 2020/2021-es évjáratban az Mv Initium őszi árpa 10 t/ha termést produkált, és az Mv Kolompos kivételével a búzafajták termése is meghaladta a 8 t/ha-t. A környezeti stresszekkel szembeni ellenálló képesség fontos mutatója a termésstabilitás, e tekintetben az eredményeink az extrakorai Mv Ikva kivételével a vizsgált búzafajták és az őszi zab jó alkalmazkodó képességére mutatnak rá. Az őszi zab termőképessége mindkét évjáratban is versenyképes volt, elsősorban a búzafajtákkal (6,1 t/ha és 6,4 t/ha) (1. ábra).

1. ábra. Őszi kalászosok termőképessége liziméterekben

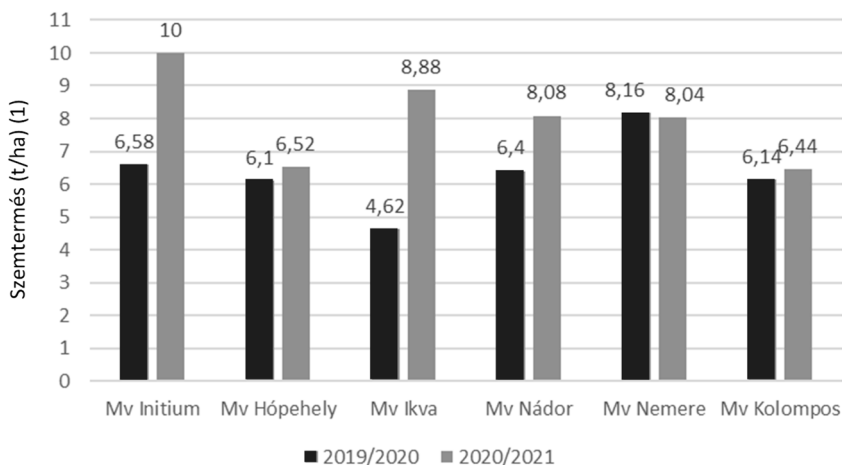


Figure 1. Yield potential of winter cereals in lysimeters. (1) Grain yield (t ha⁻¹)

A liziméterek által rögzített vízforgalmi adatokból kalkulált evapotranspiráció a 2020/2021-es tenyészidőszakban átlagosan 11,5%-kal volt magasabb, mint a 2019/2020-as tenyészidőszak tavaszán (2. ábra). Ez a különbség a növényeket nem tartalmazó, kontroll henger esetén 22,8% volt. A 2019/2020-as tenyészidőszak tavaszán a legalacsonyabb vízfogyasztást (275 mm) az Mv Ikvánál, a legmagasabb vízfelvételt az Mv Nemere fajtánál mértük (369 mm). Az Mv Hópehely őszi zab és az Mv Nemere őszi búza kivételével a második vizsgálati periódusban intenzívebb vízforgalmat mértünk, ami az áprilisi és májusi csapadékos időjárásnak volt köszönhető, és ennek hatására a fajok és fajták közötti variabilitás csökkenését állapítottuk meg. A legalacsonyabb vízfelvételt az Mv Hópehellyel (344 mm), míg a legmagasabbat az Mv Kolompossal (386 mm) bevetett hengerekkel mértük 2020/2021-ben (2. ábra).

2. ábra. Őszi kalászosok evapotranspirációja liziméterekben

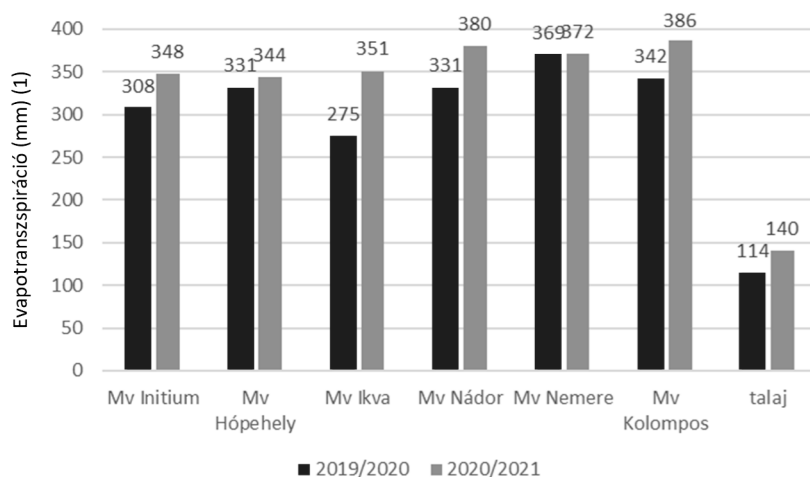


Figure 2. Evapotranspiration of winter cereals in lysimeters. (1) Evapotranspiration (mm)

A vízhasznosító képességet a szemtermés és a vízfelhasználás értékek hányadosaként számítottuk. A korábbi eredményeink azt mutatták, mind a fajok és fajták, mind pedig az évjáratok közötti variabilitás nagyobb a termőképességben, mint a vízfelhasználásban, ezért a rendelkezésre álló vízkészlet hasznosítását is alapvetően a produktíobiológiai paraméterek

befolyásolták. A második tenyészidőszakban (2020/2021) az Mv Ikva és az Mv Nádor fajtáknál határoztunk meg magasabb WUE értékeket az előző évhez képest, az Mv Nemere és Mv Kolompos őszi búzafajták eredményei között nem volt jelentős különbség a két évjáratban (3. ábra). A két vizsgált periódus között különbséget állapítottunk meg az őszi zabfajtánál (Mv Hópehely), melynek vízhasznosító képessége az első évben kedvezőbb volt, mint az Mv Ikva és Mv Kolompos őszi búza fajtáké, a második évben pedig mint az Mv Kolomposé. Az évjáratok között a termésmennyiségben tapasztalt nagymértékű különbségek megmutatkoztak a két korai érésű fajtánál (Mv Initium árpafajta és az Mv Ikva búzafajta), melyek vízhasznosító képessége 0,73 és 0,85 kg/m³-rel kedvezőbb volt a második évjáratban (3. ábra).

3. ábra. Őszi kalászosok vízhasznosító képessége liziméterekben

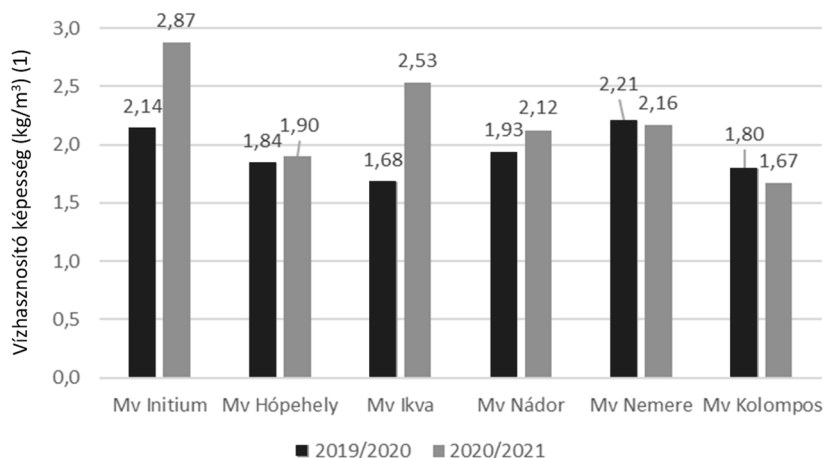


Figure 3. Water use efficiency of winter cereals in lysimeters. (1) Water use efficiency (kg m⁻³)

A növényvel fedett talajfelszín vízvesztése az aktív vegetáció időszakában jellemzően magasabb, mint a talajfelszíné.

Míg a 2019/2020-as tenyészidőszakban a november, december és a március volt csapadékos, addig 2020/2021-ben februárban, április végén és májusban hullott nagyobb mennyiségű csapadék (1. táblázat). 2020 márciusában minden faj és fajta esetében a növénykonstans 2–2,5 közötti tartományban

mozgott, ami azt mutatja, hogy a növényállománnyal borított talaj vízvesztése 2–2,5-szer nagyobb volt, mint a tiszta talajfelszíné (4. ábra). 2021 márciusában a vontatottabb fejlődésű őszi zab (1,54) kivételével minden genotípusnál 2,5–3 közötti értékeket kaptunk. 2020 áprilisban a talajban rendelkezésre álló vízkészletek intenzívebb vízfelvételt tettek lehetővé, így az őszi búzáknál az Mv Ikva kivételével három feletti növénykonstansokat határoztunk meg. 2021-ben a száraz tavasznak köszönhetően az Mv Hópehely kivételével a fajták közötti különbségek áprilisban minimálisra csökkentek. A legmagasabb biológiai konstansokat mindkét évben májusban számítottuk, ebben a hónapban a legalacsonyabb értéket az Mv Ikva (2,35 és 3,14) a legmagasabbat az Mv Nemere fajtánál rögzítettük (3,78 és 3,69). A korai fajtáknál júniusra a mutató jelentősen, az őszi árpánál egy alá is csökkent, ami azt mutatja, hogy a növények talajárnyékoló hatása jelentősebb volt, mint a párologtatásuk (4. ábra).

4. ábra. Őszi kalászosok biológiai konstansa liziméterekben

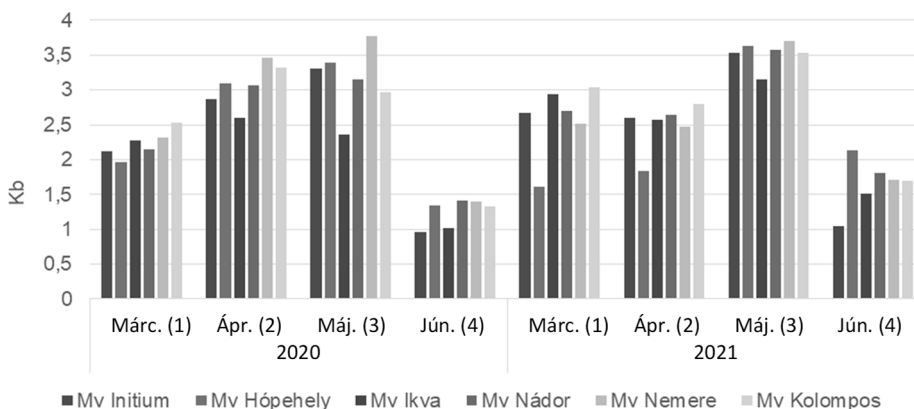


Figure 4. Biological constant of winter cereals in lysimeters. (1) March, (2) April, (3) May, (4) June

Következtetések

Az őszi vetésű kalászosok fejlődésének kezdeti szakaszában ősszel a bokrosodásig, tavasszal a vegetatív fejlődés időszakában jellemzően nem a vízhiány a fő limitáló környezeti tényező, annak ellenére, hogy egyre gyakrabban a tél végén-tavas elején csapadékhiányos időszakok léphetnek

fel. A vízfelhasználást elsősorban az befolyásolja, hogy ha bekövetkezik, akkor a generatív fejlődés mely fázisában következik be a vízhiányos állapot és az befolyásolja-e a termésmennyiséget. Ezek alapján, ha a talajban rendelkezésre áll a víz, akkor a vegetatív fejlődés során a növények a termésmennyiségtől függetlenül felveszik a szükséges vízmennyiséget, ami a teljes tenyészidőszaki vízigény jelentős részét teszi ki. A vízhasznosító képességet viszont jellemzően a fejlődés utolsó másfél hónapja befolyásolja, amikor a vízforgalom már csökkent intenzitású, ellenben az, hogy a korábban felhasznált talajvíz mennyiség hogyan hasznosul a produkció oldaláról, ebben az időszakban dől el. A vízhasznosító képesség tehát nem választható el az aszálytűréstől, mivel a talaj vízkészletét szélesebb tartományban felvenni képes, megfelelő gyökérstruktúrával és növényélettani mechanizmusokkal rendelkező fajok és fajták tovább tarthatják fenn asszimiláló felületüket, magasabb termésszintet produkálhatnak így a vízhasznosító képességük is hatékony lehet. A kutatásaink rávilágítottak arra, hogy a termésstabilitás kiemelkedő jelentőségű a vízhasznosító képesség alakulásában, mivel ennek a paraméternek a genotípusok közötti változékonysága jelentősen magasabb, mint a vízforgalomé.

Összegzés

A vízhasznosító képesség növelése kiemelkedő jelentőségű cél a növénynevelésben. A nagy termőképesség és az abiotikus stresszrezisztencia által biztosított termésstabilitás a kulcstényezők a talaj vízkészletének hatékony kihasználásában. A korai fajtákkal kiemelkedő hatékonyság érhető el, azonban a kedvezőtlen körülmények jelentősen ronthatják a tenyészidőszak során felvett vízmennyiség hasznosulását. A vizsgálatunk két éve alapján a hosszabb tenyészidő általában kismértékben alacsonyabb, de stabilabb vízhasznosító képességgel párosul.

IRODALOM

Birkás, M.-Jug, D.-Kisic, I.-Kassai, M. K.-Tarnawa, Á.-Jolánkai, M.: 2020. Water management within the soil-plant system – a challenge for the 21st Century. Acta Horticulturae Regiotecturae. Special Issue. 16–19: 4.

- Farkas, Z.-Anda, A.-Vida, G. – Veisz, O.-Varga, B.:* 2021. CO₂ Responses of winter wheat, barley and oat cultivars under optimum and limited irrigation. *Sustainability*. 13: 9931.
- Farkas, Z.-Varga-László, E.-Anda, A.-Veisz, O.-Varga, B.:* 2020. Effects of waterlogging, drought and their combination on yield and water-use efficiency of five Hungarian winter wheat varieties. *Water*. 12: 1318.
- Fodor, N.-Pásztor, L.:* 2010: The agro-ecological potential of Hungary and its prospective development due to climate change. *Applied Ecology and Environmental Research*. 8: 177–190.
- Pieczka, I.-Bartholy, J.-Pongrácz, R.-Hunyady, A.:* 2009. Climate change scenarios for Hungary based on numerical simulations with a dynamical climate model. *International Conference on Large-Scale Scientific Computing*. Berlin. Springer. 613–620.
- Ullah, H.-Santiago-Arenas, R.-Ferdousz, Z.-Attila, A.-Datta, A.:* 2019. Improving water use efficiency, nitrogen use efficiency, and radiation use efficiency in field crops under drought stress: A review. *Advances in Agronomy*. 156: 109–157.
- Varga, B.-Vida, G.-Varga-László, E.-Hoffmann, B.-Veisz, O.:* 2017. Combined effect of drought stress and elevated atmospheric CO₂ concentration on the yield parameters and water use properties of winter wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 203: 192–205.

A szerző levelezési címe – Address of the author:

*Dr. Varga Balázs – Dr. Veisz Ottó
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet ELKH
Martonvásár
Brunszyk út 2.
H-2462
*varga.balazs@atk.hu

KÖNYVISMERTETÉS

Book review

Izsáki Zoltán – Kruppa József *Szántóföldi növények vetőmagtermesztése*

„Azután monda Isten: Hajtson a föld gyenge fűvet, maghozó fűvet, gyümölcsfát, amely gyümölcsöt hozzon az ő neme szerint, amelyben legyen néki magva e földön. És úgy lőn.” (Genézis 1.11. Károli fordításában). A szép és kultúrtörténetileg is megragadó megállapítás immár sokezer éves, de megvan az az értéke, hogy három szakmai megállapítást is tesz. Az egyik, a növények ivaros szaporodásának megfogalmazása, a másik az öröklődés definíciója, míg a harmadik pedig a mag mint szaporítóanyag definiálása. Hosszú út telt el az emberiség történetében, míg a mitikus, legendák kódébe burkolódzó megfogalmazások egzakt állami jogszabályi formában is megjelentek, biztosítva ezáltal a mezőgazdasági termelés szakmai feltételeit, alapjait. Magyarország – mint oly sok szakmai területen – itt is az elsők közé tartozott, hiszen a vetőmagvizsgálat és –minősítés intézményi keretei 1878-ra datálódnak.

A „*Szántóföldi növények vetőmagtermesztése*” egy hiánypótló, aktuális szak- és tankönyv, amely kettős feladatot lát el. Egyrésztől összefoglalja a szántóföldi növényfajok vetőmag és szaporítóanyag előállításával kapcsolatos szakmai ismereteket, másrésztől segít eligazodni a folyamatosan változó szabályzórendszerek, jogi keretek, előírások, szabványok és követelmények világában. A mű szerkesztői nem kisebb feladatot vállaltak, mint a vetőmagtermesztés szakmai és tudományos ismereteinek, technológiai lehetőségeinek és folyamatainak, illetve a vetőmag feldolgozás területeinek áttekintését, és az aktuális ismeretanyag közreadását.

A háromkötetes munka megalkotása több éven át tartott, és elmondható, hogy lényegében az egész magyar növénytermesztő és -nemesítő szakma valamilyen szerepet kapott benne. Az 53 szerző, a 26 lektor és persze a szerkesztőket segítő redakció alapos, szakszerű munkát végzett. A legnagyobb feladat természetesen, csakúgy, mint bármely csapatmunka esetében itt is a szerkesztőkre hárult. Kellő tapasztalattal és empátiával, ugyanakkor szigorú szakmai elvárásokat támasztva irányították az alkotó közösséget.

Az első kötet a vetőmagtermesztés általános ismereteit foglalja össze. A vetőmag és fajtaelismerés rendszere, a hazai vetőmagtermesztés helyzete, a fajtaminősítés hazai és európai gyakorlata és jogi keretei, a vetőmagelőállítás követelményeit taglalja ez a kötet. Természetesen helyet kapott benne a növény-nemesítés, a magbiológia, a biotechnológia és genetika, valamint a vetőmagtermesztés és -feldolgozás, továbbá a forgalmazás területe is. A második kötet a gabonafélék, hüvelyesek, gyökér- és gumós növények vetőmagtermesztését, a termesztéstechnológia jogi és szakmai feltételrendszerét, adatait ismerteti. A harmadik kötet az olajnövények, a pillangós virágú szálastakarmány növények, ipari és egyéb növények, a gyep- és takarmányfüvek, és nem utolsósorban a szántóföldi zöldségnövények vetőmagtermesztését foglalja össze.

A szakkönyv, illetve tankönyv elsősorban a szakmérnökképzés alapvető tankönyve, de egyúttal a növény-nemesítő- és vetőmagtermesztő szakmai közösség, valamint a szélesebb társadalmi rétegek hasznos információforrása. A három kötet összesen 1190 oldal terjedelmű, 177 táblázatot, 410 ábrát és képet tartalmaz. További erénye a műnek, hogy fejezetenként összefoglalja a témával kapcsolatos szakirodalmat, jogszabályokat, illetve szabványokat.

A háromkötetes mű a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem gondozásában jelent meg 2022-ben. Nyugodt szívvel megállapítható, hogy a hazai vetőmagvertikum egy korszerű, évtizedekre előremutató, jól használható eszközzel gazdagodott.



NAGY JÁNOS főszerkesztő

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