

Crop
Production

 HERMAN OTTÓ INTÉZET
NONPROFIT KFT.

NÖVÉNYTERMELÉS

71. kötet | 1. szám | 2022. március

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyésztési időszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése

Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukorica hibridek kelésdinamikai és termésparamétereire szántóföldi tartam kísérletben

A nitrogén-hasznosítást növelő nitrapyrin hatékonysága vályogtalajon termesztett kukoricában

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

71. kötet, 1. szám, 2022. március

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

Fotót készítette: Márián Katalin

ISSN 0546-8191

TARTALOM

<i>Gombos Béla – Nagy János: A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése</i>	7
<i>Illés Árpád – Bojtor Csaba – Szabó Atala – Nagy János: Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukoricahibridek kelésdinamikai és terméskaparamétereire szántóföldi tartamkísérletben</i>	21
<i>Nagy Zoltán – Nagy János: A 2020-as és a 2021-es kukorica tenyészidőszak agrometeorológiai viszonyainak összehasonlító elemzése</i>	33
<i>Rácz Dalma – Horváth Éva – Zagyi Péter: A nitrogén-hasznosítást növelő nitrapyirin hatékonysága vályogtalajon termesztett kukoricában</i>	51
<i>Tamás András – Radócz László – Horváth Éva – Zagyi Péter – Ragán Péter: A termesztéstechnológiai tényezők hatása a kukorica (<i>Zea mays</i> L.) terméseredményeire polifaktorális tartamkísérletben</i>	67
<i>Tuba Géza – Gulybán Olivér – Kovács Györgyi – Nagy Pál Máté – Sinka Lúcia – Zsembeli József: Az évenként végzett talajlazításra alapozott művelési rendszer értékelése a talaj penetrációs ellenállása alapján</i>	81
SZEMLE	
<i>Berzsenyi Zoltán: Stabilitásanalízis a növénytermesztési tartamkísérletekben – Győrffy Béla (1928–2002) emlékére ajánlom</i>	99
NEKROLÓG	
<i>Nyiri László professor emeritus (1932–2021)</i>	131
KÖNYVISMERTETÉS	
<i>Izsáki Zoltán: A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei II. 1990–2010 – Szója, lóbab, őszi árpa, rostkender és csicsóka tápanyagellátása</i>	135

CONTENTS

<i>B. Gombos – J. Nagy:</i> Agrometeorological characteristics of the 2021 growing season of the long-term maize experiment in Látókép	7
<i>Á. Illés – Cs. Bojtor – A. Szabó – J. Nagy:</i> Effect of different agrotechnical parameters on the germination dynamics and yield parameters of different maize hybrids in a long-term field experiment	21
<i>Z. Nagy – J. Nagy:</i> Comparative analysis of agrometeorological conditions for the 2020 and 2021 maize growing seasons	33
<i>D. Rácz – É. Horváth – P. Zagyi:</i> Efficacy of nitrapyrin to increase nitrogen use in maize grown on loam soils	51
<i>A. Tamás – L. Radócz – É. Horváth – P. Zagyi – P. Ragán:</i> The effect of production technological factors on the yield of maize (<i>Zea mays</i> L.) in a multifactorial long-term experiment	67
<i>G. Tuba – O. Gulybán – Gy. Kovács – P. M. Nagy – L. Sinka – J. Zsembeli:</i> Evaluation of a cultivation system based on annual loosening in virtue of soil penetration resistance data	81
 <i>REVIEW</i>	
<i>Z. Berzsenyi:</i> Stability analysis in long-term crop production experiments – In memoriam Béla Győrffy (1928–2002)	99
 <i>OBITUARY</i>	
Nyiri László professor emeritus (1932–2021)	131
 <i>BOOK REVIEW</i>	
<i>Z. Izsáki:</i> A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei II. 1990–2010 – Szója, lóbab, őszi árpa, rostkender és csicsóka tápanyagellátása	135

СОДЕРЖАНИЕ

Б. Гомбош – Я. Надь: Анализ агрометеорологических характеристик вегетационного периода 2021 года продолжительного опыта кукурузы в Латокешп	7
А. Иллеш – Ч. Бойтор – А. Сабо – Я. Надь: Влияние различных агротехнических параметров на параметры всхождения и урожая различных кукурузных гибридов в пахотном продолжительном опыте	21
З. Надь – Я. Надь: Сравнительный анализ агрометеорологических условий вегетационного периода кукурузы 2020 и 2021 годов	33
Д. Рац – Е. Хорват – П. Задьи: Эффективность увеличивающего использование азота нитрапирина в выращенной на суглинистой почве кукурузе	51
А. Тамаш – А. Радоц – Е. Хорват – П. Задьи – П. Раган: Влияние факторов технологии выращивания на результаты урожая кукурузы (<i>Zea mays</i> L.) в полифакторном продолжительном опыте	67
Г. Туба – О. Гуйбан – Дь. Ковач – П. М. Надь – А. Шика – Ё. Жембели: Оценка основанной на ежегодно проводимом рыхлении почвы системы обработки на основе пенетрационного сопротивления почвы	81
ОБЗОР	
З. Берзени: Анализ стабильности в продолжительном растениеводческом опыте – Посвящается памяти Дёрффи Белы (1928–2002)	99
НЕКРОЛОГ	
Эмерит профессор Ньери Ласло (1932–2021)	131
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КНИГИ	
З. Ижак: Результаты продолжительных опытов искусственных удобрений в Сарваше II. 1990–2010 – Обеспечение питательными веществами сои, конских бобов, озимого ячменя, волокнистой конопли и топинамбура	135

A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése

GOMBOS BÉLA - NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A Debrecen-Látóképen folyó tartamkísérlet 2021-es kukorica termésátlagai öntözés nélkül jelentősen elmaradtak az utóbbi évek átlagától. Az öntözés terméstöbblete 2021-ben átlagosan 2,5 t/ha volt.

A tenyészidőszak elején viszonylag egyenletesen és folyamatosan jelentős negatív hőmérsékleti anomália jellemezte az időjárást. Áprilisban 3,0 °C, májusban 2,1 °C-kal volt hűvösebb a sokévi átlagnál. A napi talajhőmérsékleti középértékek csak április 19-től emelkedtek tartósan a növény bázishőmérséklete (10 °C) felé. A legkorábbi vetések április végére keltek ki. A kikelt növények fejlődése is vontatottan haladt. Májusban átlagos csapadékmennyiség hullott, ami még megfelelő vízellátást biztosított a kukorica számára. Június elején határozott fordulat következett be az időjárás jellegében. A nyár első két hónapjában napsütésben gazdag, a szokásosnál lényegesen melegebb időjárás uralkodott, mindez igen kevés csapadékkal társulva. A júniusi és júliusi hőmérsékleti anomália +2,8 °C, illetve +2,6 °C volt. A június havi 10 mm-es csapadék szinte elhanyagolható ilyen hőmérsékletek mellett, a hónap végére fokozatosan súlyos aszályhelyzet alakult ki. A július is igen száraz volt (30 mm csapadék), az aszály tovább fokozódott a kritikus fenológiai fázisokban. Egyes állományokban virágzási és megtermékenyülési problémákat tapasztalhattunk, ami a meddő tövek, hiányos szem-berakódású csövek nagyobb arányában nyilvánult meg.

Augusztusban (32 mm) és szeptemberben (19 mm) is folytatódott a szárazság csupán a hőmérséklet tért vissza az átlagához közeli tartományba. Mindez megfelelő feltételeket biztosított a szem vízleadásához, illetve száradásához.

Voltak a tenyészidőszaknak a kukorica számára kedvező időjárású szakaszai, de a súlyos nyári aszály mindent felülírt, egy igen kedvezőtlen évjáratot eredményezett, rendkívül nagy terméskieséssel a hajdúsági termőterületeken. Ez felhívja a figyelmet az öntözés jövőben növekvő jelentőségére, illetve az öntözésfejlesztés fontosságára.

Kulcsszavak: tartamkísérlet, időjárás, csapadék, hőmérséklet, kukorica

Agrometeorological characteristics of the 2021 growing season of the long-term maize experiment in Látókép

B. GOMBOS – J. NAGY

University of Debrecen, Centre for Agricultural and Food Sciences and
Environmental Management,

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

Summary

Without irrigation, the 2021 average yields of the long-term maize experiment in Debrecen-Látókép were significantly lower than the respective averages of the previous years. On the irrigated plots, the yield level was significantly higher, at the level of an average crop year.

The winter period preceding the growing season did not show any notable extremes, with temperatures and precipitation being in line with the long-term average.

From the beginning of April to the end of May, the weather was characterised by a relatively steady and continuous significant negative temperature anomaly. April was 3.0 °C cooler than the long-term average, and May was 2.1 °C cooler. The daily mean soil temperature values only rose steadily above the plant base temperature (10 °C) from 19 April. The earliest sown maize emerged by the end of April. Development of the emerged crops was also slow. Average rainfall in May still provided adequate

water supply for maize. Early June saw a marked change in the weather pattern. The first two months of summer were sunny and much warmer than usual, with very little rainfall. The temperature anomalies in June and July were +2.8 °C and +2.6 °C respectively. The 10 mm of precipitation in June is almost negligible at these temperatures, and by the end of the month, a severe drought situation had gradually developed. July was also very dry (30 mm of precipitation), with drought intensifying during critical phenological phases. In some stands, flowering and fertilisation problems were observed, manifested by a higher proportion of infertile plants and ears with incomplete grain patterns.

Drought conditions continued in August (32 mm) and September (19 mm) with temperatures returning to near average. This provided the necessary conditions for the grain to release water and dry.

There were periods of the growing season with favourable weather for maize, but the severe summer drought resulted in a very unfavourable year with very high yield losses in the production areas of the region of Hajdúság. This highlights the growing importance of irrigation in the future and the need to improve irrigation.

Keywords: weather, rainfall, temperature, maize, average yield

Анализ агрометеорологических характеристик вегетационного периода 2021 года продолжительного опыта кукурузы в Латокепи

Б. ГОМБОШ – Я. НАДЬ

Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и
Экологического Менеджмента (МÉК),

Институт Землепользования, Технический и Прецизионной Технологии, Дебрецен

Резюме

В происходящем в местечке Дебрецен-Латокепе продолжительном опыте в 2021 году средние урожаи кукурузы без орошения значительно отстали от среднего урожая прошлых лет. Прибавка урожая от орошения в 2021 году была в среднем 2,5 т/га.

В начале вегетационного периода относительно равномерно и постоянно значительная негативная температурная аномалия характеризовала погоду. В апреле на 3,0 °С, в мае на 2,1 °С было прохладнее многолетней средней. Средняя величина дневной температуры почвы только с 19 апреля поднялись постоянно к базовой температуре растения (10 °С). Самые ранние посевы взошли к концу апреля. Развитие взошедших растений также продвигалось долго. В мае выпало среднее количество осадков, что ещё обеспечило соответствующее водообеспечение для кукурузы. В начале июня произошло определенное изменение в характере погоды. В первые два месяца лета преобладала солнечная, существенно более тёплая, чем обычно, погода, в сочетании с очень малыми осадками. Температурная аномалия в июне и в июле была +2,8 °С, и +2,6 °С. Месячные июньские 10 мм осадки можно почти игнорировать при такой температуре, к концу месяца постепенно образовалась сильная засуха. Июль также был очень сухим (30 мм осадков), засуха усилилась дальше в критичные фенологические фазы. В некоторых насаждениях могли обнаружить проблемы с цветением и оплодотворением, что проявилось в бесплодных стеблях, в большой доле початков с отсутствующими зёрнами.

В августе (32 мм) и в сентябре (19 мм) продолжалась засуха, только температура вернулась к близкому к среднему уровню. Всё это обеспечило подходящие условия для отдачи воды зерном, к высыханию.

Были в вегетационном периоде благоприятные для кукурузы погодные периоды, но сильная летняя засуха все определила, дала очень неблагоприятный год выращивания, с чрезвычайно большим выпадом урожая на хайдушагских территориях выращивания. Это обращает внимание на возрастающее значение орошения в будущем, и также на важность развития орошения.

Ключевые слова: продолжительный опыт, погода, осадки, температура, кукуруза

Bevezetés

A hazai kukoricatermesztésben a legnagyobb időjárási kockázatot a kevés, illetve kedvezőtlen időbeli eloszlásban hulló csapadék jelenti, az aszály a kukorica elsősorú terméslimitáló tényezője. A kukorica vízigénye Szalóki (1989) szerint 420–550 mm. Ez a fő termőterületeken 100–150, helyenként 200 mm-rel meghaladja a tenyészidőszakban szokásos csapadékösszeget

(Nagy 2007). Száraz években az eltérés még nagyobb mértékű. Nagy (2012) a debrecen-látóképi kukorica tartamkísérlet adatai alapján erős pozitív korrelációt mutatott ki a vegetációs időszak csapadékösszege és a termésátlag között. A vízhiányra legérzékenyebb fenofázis a címerhányást közvetlenül megelőző időszaktól a szemtelítődés középső szakaszáig tart (Nielsen *et al.* 2010). Megyes *et al.* (2000) vizsgálatai szerint a július 15. és augusztus 15. közötti időszak csapadékösszege mutat legszorosabb összefüggést a terméskiesés mértékével. Ugyanakkor a kedvező július-augusztusi időjárás önmagában nem elegendő az átlagot jelentősen meghaladó termésátlaghoz (Gombos és Nagy 2019). A virágzás idején, illetve azt megelőzően jelentkező vízhiány a szemszám csökkenésében nyilvánul meg, a terméskötés után bekövetkező szárazság eredményeképpen kisebb lesz a szemek mérete, az ezerszemtömeg (Westgate és Boyer 1986, Smith *et al.* 2004).

A tenyészidőszak hőmérsékleti viszonyai elsősorban a fejlődési ütemet, ezáltal az érési időpontot határozzák meg. Magyarországon a kukorica tenyészidőszakának elején (április-május) nem ritkán előfordulnak olyan időszakok, amikor a hőmérséklet a bázishőmérséklet (8–10 °C) közelében, vagy az alatt marad. Ekkor a kukorica nem, vagy csak igen lassan fejlődik, növekedik. Hűvös időben megsárgulnak a levelei és gyakorlatilag megáll a növekedése (Láng 1976). Nyáron a hőmérséklet csak ritkán és rövid időre kerül a bázishőmérséklet alá. A címerhányás-érés időszakban a legkedvezőbb hőmérséklet 24–26 °C. Ettől eltérő hőmérsékletek megváltoztatják a fázisstartamot, de a termést nem befolyásolják szignifikánsan (Varga és Varga-Haszonits 2003). Újabban viszont a nyári időszakban egyre gyakrabban előforduló szélsőségesen meleg időjárás által okozott növényi stressz is megfigyelhető hazánkban (gyakran vízhiánnyal is párosulva). Külföldi kutatások bizonyítják, hogy szélsőségesen meleg időszakok hatására nagymértékű termésnövekedés következhet be (Reidsma *et al.* 2009, Schlenker és Roberts 2009). A hőstressz termésnövekedést gátló hatása a reproduktív fenofázisban, különösen a virágzás idején a legjelentősebb (Wheeler *et al.* 2000) és elsősorban a csövenkénti szemszám csökkenésben nyilvánul meg (Otegiu és Bonhomme 1998, Cichino *et al.* 2010). 30 °C feletti nappali hőmérséklet esetén már kimutatható a kukoricára gyakorolt negatív hatás (Lobell *et al.* 2011). Debreceni kukorica tartamkísérleti termésátlagok alapján is bizonyítható, hogy a tartósan meleg időjárás, időnként szélsőségesen

meleg peridódusokkal – átlagos csapadékviszonyok mellett is – igen nagy terméskiesést okoz (*Gombos és Nagy 2019*).

Kutatásunkban a kukorica 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai viszonyait elemeztük, figyelembe véve a növény fenológiai fázisonként változó hő- és vízigényét.

Anyag és módszer

A kukorica termésátlag adatok a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén folyó szántóföldi tartamkísérletből származnak. Nem volt célunk a művelésmód, a vetésidő, a genotípus, valamint a tőszám hatását vizsgálni. A kutatásba csak olyan termésadatokat vontunk be, amelyeket az „évjáráthatás” jellemzéséhez szükségesnek tartottunk. Ennek megfelelően egy hosszabb kísérleti adatsorral rendelkező genotípust választottunk ki (H480 SC), szántásos alapművelés, a vetésidő április 22., 70 000 tő/ha tőszám mellett. Az öntözött és öntözetlen állományok termésátlagának összehasonlítását kifejezetten szükségesnek tartjuk ahhoz, hogy a csapadék és hőmérsékleti viszonyok hatását elkülöníthessük. A műtrágyázás hatását nem értékeltük.

A kísérlet monokultúrában folyik, évről évre azonos agrotechnika alkalmazása mellett, négy ismétlésben. A betakarítást szárazzás, talajba keverés, majd őszi szántás követi, mint alapművelés. A kísérleti területen folyó növényvédelmi tevékenység következtében elhanyagolható mértékű a gyom kompetencia, a kártevők és kórokozók miatti terméskiesés.

Meteorológiai viszonyok

Az időjárás értékelését a Debreceni Egyetem Debrecen-Látóképen telepített automata meteorológiai állomás hőmérséklet és csapadék adatai alapján végeztük el. A mérőeszközöktől mintegy 10 m távolságra kezdődtek a legközelebbi kukorica parcellák. A sokévi átlagtól való eltérések vizsgálatához referenciaként az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecen-Repülőtér állomásának 1981–2010-es (legújabb 30 éves) klímaadatait szolgálták (met.hu). A havi napfénytartam adatok szintén az OMSZ állomás méréseiből származnak (met.hu). A talajhőmérséklet mérése 5 db HOBO UA-002 Pendant hőmérsékleti adatgyűjtővel történt. A mérőeszközöket március

31-én a legkorábbi vetésű szántásos alpművelésű parcellában, pontosan a kukorica vetőágyába 5 cm mélységbe helyeztük el.

Korábbi vizsgálatainkkal megegyező módon a tenyészidőszakban elsődlegesen havi, majd dekád bontásban értékeltük a hőmérsékleti és csapadékviszonyokat (Gombos és Nagy 2019). ezt azonban kiegészítettük a napsugárzásra, valamint a talajhőmérsékletre vonatkozó információkkal. A dekád hőmérséklet esetében az anomália, a csapadék esetében a tényleges értékek elemzése bizonyult célravezetőbbnek, a grafikus megjelenítésnél ezért ezeket alkalmaztuk. A kukorica fenofázisonként változó éghajlati igényének, illetve a kritikus tényezőinek figyelembe vételével értékeltük a meteorológiai viszonyokat.

Eredmények és értékelés

A 2021-es év időjárása az öntözés nélküli kukoricatermesztés vonatkozásában igen kedvezőtlenül alakult Magyarország jelentős részén. A Hajdúsági löszhát – az ország egyik legjobb talajadottságú, legjelentősebb termesztési körzete – volt az egyik leginkább aszálysújtott terület, amit a Látóképi Kísérleti Telepen folyó tartamkísérletet is sújtották. Ugyanakkor az öntözött parcellákon a termésszint lényegesen magasabban alakult. Az öntözés terméstöbblete 2021-ben átlagosan 2,5 t/ha volt.

A 2021-es tenyészidőszak időjárása

A tenyészidőszakot megelőző téli félév különösebb szélsőségeket nem mutatott, mind a hőmérséklet, mind a csapadék szempontjából a sokévi átlagnak megfelelően alakult. A hat hónap alatt lehullott 196 mm csapadék csupán 18 mm-el maradt az átlagos érték alatt (1. táblázat). A talaj felső 1 m-es rétege tél végére telítődött a szántóföldi vízkapacitásáig, részben a 2020-as csapadékos nyárnak köszönhetően. A február végétől jellemző száraz időjárás következtében a legfelső rétegek száradása a szokásosnál korábban megkezdődött.

1. táblázat. A hőmérséklet, a csapadék (Debrecen-Látókép) és a napfénytartam (Debrecen-Repülőtér, OMSZ) havi és féléves jellemzői

Időszak (1)	Középhőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)	Napfénytartam (óra) (4)
Téli félév (X-III.) (5)	4,2 (0)	196 (-18)	622 (-52)
Nyári félév (IV-IX.) (6)	17,6 (+0,1)	182 (-164)	1561 (+45)
Április (7)	8,2 (-3,0)	27 (-26)	178 (-36)
Május (8)	14,5 (-2,1)	64 (0)	243 (-7)
Június (9)	22,1 (+2,8)	10 (-56)	364 (+95)
Július (10)	23,9 (+2,6)	30 (-36)	298 (+12)
Augusztus (11)	20,4 (-0,4)	32 (-17)	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-Látókép 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 száraz márciusi és áprilisi időjárás lehetővé tette a jó minőségű magágyelőkészítést és nem akadályozta a vetést korai, közepes, illetve kései vetésidő esetén sem. Az utóbbi évekhez képest szokatlan módon a kelési és a kezdeti fejlődési időszak kifejezetten hűvös volt. Április elejétől május végéig viszonylag egyenletesen és folyamatosan jelentős negatív hőmérsékleti anomália jellemezte az időjárást. Áprilisban 3,0 °C, májusban 2,1 °C-kal volt hűvösebb a sokévi átlagnál (2. táblázat). Ilyen alacsony átlaghőmérséklet (április-május) utoljára 1991-ben volt. Április viszonylag szegény volt napsütésben, májusban a napfénytartam nem mutatott lényeges eltérést a sokévi átlaghoz képest.

A napi talajhőmérsékleti középértékek csak április 19-től emelkedtek tartósan a növény bázishőmérséklete (10 °C) felé és a hónap végére érték el a 15 °C-ot (1. ábra). A levegő hőmérséklete néhány nap kivételével a talajhőmérséklet alatt maradt, egyértelmű a talaj hőmérsékleti többlete.

2. táblázat. A kukorica fenológiai fejlődése különböző vetésidők esetén
(Látókép, 2021)

	1	2	3
Vetésidő (1)	03. 31.	04. 08.	04. 17.
Kelés (2)	04. 26-29.	04. 29.-05. 02.	05. 02-03.
6 leveles állapot (3)	05. 25-26.	06. 03-04.	06. 03.
Virágzás (4)	07. 14-15.	07. 15-18.	07. 17-19.
Fiziológiai érés (5)	08. 30.-09. 03.	09. 04-07.	09. 10-14.

Table 2. Phenological development of maize with different sowing dates (Debrecen-Látókép, 2021). (1) Sowing date, (2) Emergence, (4) Six leaf stage, (5) Physiological maturity

1. ábra. A talajhőmérséklet (5 cm, szántásos alpművelés) és a léghőmérséklet
(2 m) menete (Debrecen-Látókép, 2021. április-május)

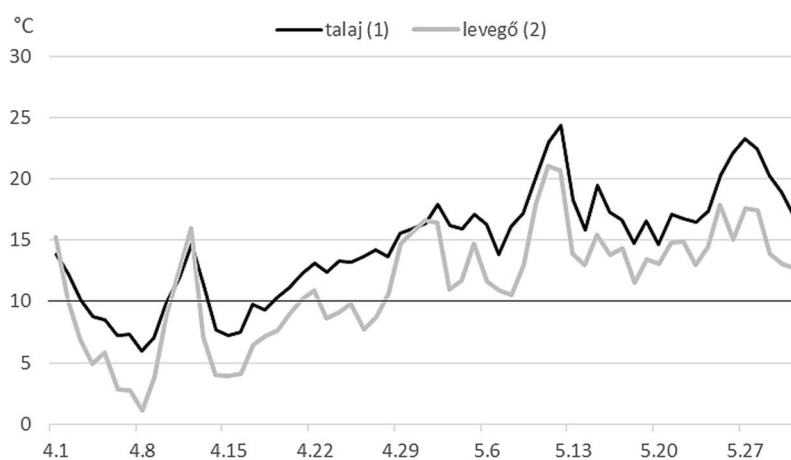


Figure 1. Daily average of soil temperature (at 5 cm depth), air temperature (2 m) and the difference of them (Debrecen-Látókép, April-May, 2021). (1) Soil, (2) Air

Havi középértékben a talajhőmérséklet áprilisban 2,8 °C-kal, májusban 3,5 °C-kal haladta meg a léghőmérsékletet. Ez azért fontos, mert 6-leveles állapotig a kukorica tenyészőcsúcsa a talajfelszín alatt található, tehát a

fejlődési sebességet közvetlenül a talaj hőmérséklete határozza meg, a léghőmérséklet hatása közvetve érvényesül. A legkorábbi vetések (03. 31.) még így is csak április végére keltek ki, azaz mintegy 4 hét volt a vetés-kelés fenofázis hossza. A későbbi vetésidők esetén a kelési idő lerövidült (április 17-i vetés - május 2-3. kelés, 2. táblázat). A kikelt növények fejlődése is vontatottan haladt, június elejére érték el a 6-leveles állapotot, ekkorra kb. kéthetes lemaradásban voltak a szokásoshoz képest. Májusban átlagos csapadékmennyiség hullott, ami a hűvös, gyakran felhős időjárás, illetve az evapotranszpiráció alacsony értéke miatt még megfelelő vízellátást biztosított a kukorica számára.

Június elején határozott fordulat következett be az időjárás jellegében. A nyár első két hónapjában napsütésben gazdag, az átlagosnál lényegesen melegebb időjárás uralkodott, mindez igen kevés csapadékkal társulva. A júniusi hőmérsékleti anomália +2,8 °C, kiemelten meleg volt a hónap utolsó dekádja (közel 6 °C-kal melegebb az átlagnál). Júliusban kiegyenlítettebb hőmérsékleti viszonyok mellett alakult ki 2,6 °C-os pozitív anomália (2. ábra). Júniusban 10, júliusban 19 hőségnap ($\text{max} \geq 30 \text{ °C}$) volt. A napsütéses órák száma júniusban 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. Még a júliusi 298 órás napfénytartam is egy napsugárzásban gazdag hónapra utal (2. táblázat). A meleg időjárás következtében júniusban felgyorsult a kukorica fejlődése, a virágzás időpontja - a vetésidő függvényében néhány napos eltérés mutatva - július 14-19. időszakra esett.

Júniusban több részletben hullott le összesen 10 mm csapadék, messze elmaradva az átlagostól. A jelentős csapadékhiány hatására a hónap végére fokozatosan súlyos aszályhelyzet alakult ki. Júliusban valamivel több eső volt (30 mm), két alkalommal esett 10 mm-t elérő napi csapadék. Ezekről is csak a talaj legfelső rétege tudott néhány napra átnedvesedni. A vízhiány és részben a magas hőmérséklet által okozott stressz károsan hatott a növény asszimilációjára, az állományok tömeggyarapodására, továbbá a magassági- és levélfelület növekedésére is. A folytatódó aszály (talaj- és légköri aszály együtt) következtében egyes állományokban virágzási és megtermékenyülési problémákat tapasztalhattunk, ami a meddő tövek, hiányos szem-berakódású csövek nagyobb arányában nyilvánult meg. A jelenség a látóképi kísérleti

területen - kiváló minőségű és vízgazdálkodású csernozjom talajokon - is megfigyelhető volt.

2. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2021 tenyészidőszakában Debrecen-Látóképen

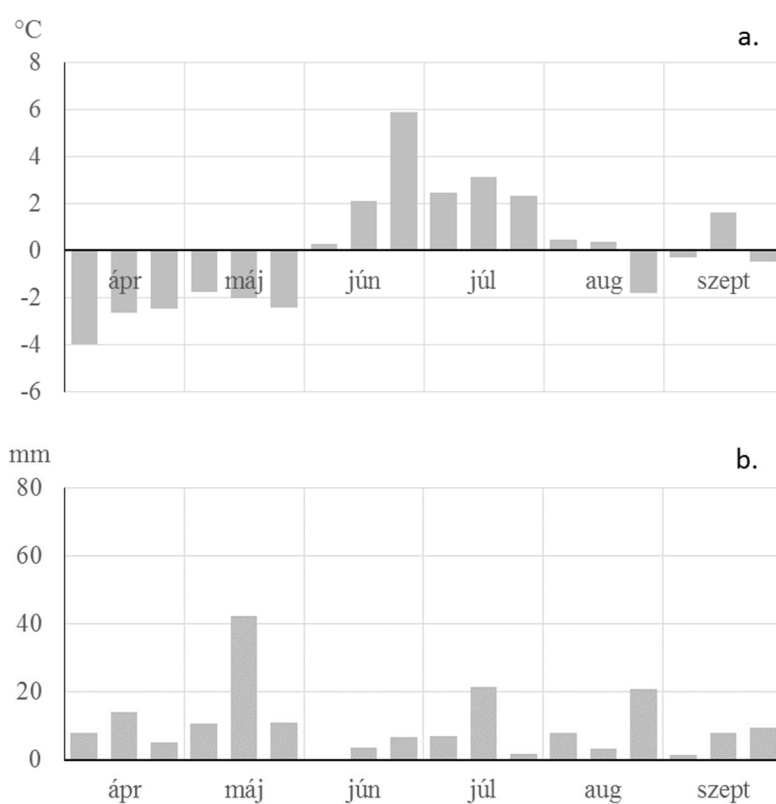


Figure 2. 10-day precipitation sums (b) and anomalies of the 10-day average air temperature values (a) in the growing season (Debrecen-Látókép, 2021)

Augusztusban is folytatódott a szárazság (havi csapadék 32 mm), csupán a hőmérséklet tért vissza az átlagoshoz közeli tartományba. A hónap első felében a hőmérsékleti maximum még gyakran elérte a 30 °C-ot (9 hőség nap). A termés szempontjából szintén nagy jelentőségű szentelítődési időszakban nem (sem) esett olyan csapadék, ami érdemben hozzájárult volna

a növények vízellátottságához, az utolsó dekád 20 mm körüli mennyisége pedig ehhez már későn érkezett. Az idei szárazság súlyosságára önmagában jól utal, hogy a három nyári hónap alatt összesen mindössze 72 mm csapadék hullott a Látóképi kísérleti területen (2. táblázat), aminél kevesebb 1951 óta csak egy alkalommal fordult elő (1962-ben 55 mm).

Szeptemberben sem érkezett a talaj vízkészletét érdemben növelő csapadék. A hónapban összesen 19 mm csapadék esett, ami az átlagosnak csupán mintegy 40%-a. A hőmérséklet nem mutatott lényeges eltérést az ilyenkor megszokotthoz képest és mentes volt a szélsőséges kilengésektől. Mindez megfelelő feltételeket biztosított az éréshez, a szem vízleadásához, illetve száradásához. A kukorica a fiziológiai érettség állapotát a vetésidőtől függően augusztus 30. és szeptember 14. között érte el (2. táblázat). A betakarításra a kedvező, a munkát nem hátráltató időjárási viszonyok mellett nagyrészt szeptember utolsó dekádjában került sor a kísérleti területen.

A 2021-es tenyészidőszak fő meghatározója a rendkívül száraz nyári időjárás, ami tartósan átlag feletti hőmérséklettel párosult június-júliusban. A korábbi években is megfigyelhettünk a kísérleti területen a száraz időjárás és a magas hőmérséklet miatt jelentős termés kiesést, de egyik vizsgált évben sem volt ennyire súlyos és tartós az aszály. A tenyészidőszak első két hónapját (április-május) ugyanakkor – az utóbbi évekhez viszonyítva szokatlan módon – hűvös időjárás jellemezte.

Megállapíthatjuk, hogy bár voltak a tenyészidőszaknak a kukorica vonatkozásában kedvező (vagy megfelelő) időjárású szakaszai, a súlyos nyári aszály mindent felülírt, egy igen kedvezőtlen évjáratot eredményezett, összességében rendkívül nagy termés kieséssel a hajdúsági termőterületeken.

Következtetések

Az éghajlatváltozás várható növénytermesztési vonatkozásai között általában az elsők között szokás említeni a gyakrabban és erősebben fellépő aszályokat. Az idei év teljesen illeszkedik ebbe a forgatókönyvbe. Eddig (legalábbis az utóbbi évtizedekben) nem tapasztalt aszály sújtotta többek között Magyarország egyik fő termőterületét, a Hajdúságot. Az általunk korábban vizsgált 2010-es években is többször jelentkezett aszály, de most fordult elő először, hogy a nyár folyamán egyáltalán ne hulljon a növény vízellátottságához

érdemben hozzájáruló csapadék. Amennyiben akár csak a termésképződés első időszakában (július vége) hullott volna jelentős csapadék, akkor az lényegesen növelte volna a termésátlagot. Ez, valamint az öntözött területek jelentős terméstöbblete felhívja a figyelmet az öntözés jövőben növekvő jelentőségére, illetve az öntözésfejlesztés fontosságára.

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

- Cicchino, M.–Edreira, J. I. R.–Uribelarrea, M.–Otegui, M. E.*: 2010. Heat stress in field-grown maize: response of physiological determinants of grain yield. *Crop Sci.* 50: 1438–1448.
- Gombos B.–Nagy J.*: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés.* 69. 2: 5–23.
- Láng G.*: 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 408.
- Lobell, D. B.–Hammer, G. L.–McLean, G.–Messina, C.–Roberts, M. J.–Schlenker, W.*: 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nat. Clim. Change.* 3: 497–501.
- Megyes A.–Rátonyi T.–Huzsvai L.–Szabó Gy.–Dobos A.–Sum, O.*: 2000. A műtrágyázás hatása a Dekalb 471 SC kukorica hibrid (*Zea mays* L.) termésére öntözés nélkül és öntözéssel. *Növénytermelés.* 49. 3: 307–316.
- Nagy, J.*: 2007. Maize Production (in Hungarian) *Kukoricatermesztés.* Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy, J.*: 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. *Időjárás.* 116. 1: 39–52.
- Nielsen, D. C.–Halvorson, A. D.–Vigil, M. F.*: 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research.* 118: 259–263.
- Otegiu, M. E.–Bonhomme, R.*: 1998. Grain yield components in maize: I. Ear growth and kernel set. *Field Crops Research.* 56: 247–256.
- Reidsma, P.–Ewert, F.–Boogaard, H.–Diepen, K. V.*: 2009. Regional crop modelling in Europe: the impact of climatic conditions and farm characteristics on maize yields. *Agric. Syst.* 100: 51–60.

- Schlenker, W.-Roberts, M. J.*: 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106: 15594-15598.
- Smith, W. C.-Betran, J.-Runge, E. C. A. (eds.)*: 2004. *Corn. Origin, History, Technology, and Production.* John Wiley. Hoboken. NJ. 949.
- Szalóki S.*: 1989. A növények vízigénye, vízhasznosítása és öntözővíz-szükséglete. [In: Szalai Gy. (szerk.) *Az öntözés gyakorlati kézikönyve.*] Mezőgazda Kiadó. Budapest. 100-154.
- Varga Z.-Varga-Haszonits Z.*: 2003. A meteorológiai viszonyok hatása a kukorica életjelenségeire. I. Növényvédelmi tanácsok. 12. 12: 18-19.
- Westgate, M. E.-Boyer, J. S.*: 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science.* 26: 951-956.
- Wheeler, T. R.-Craufurd, P. Q.-Ellis, R. H.-Porter, J. R.-Vara Prasad, P.*: 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *Agric. Ecosyst. Environ.* 82: 159-167.

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

Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukorica hibridek kelésdinamikai és termésparamétereire szántóföldi tartam kísérletben

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

Összefoglalás

A modern mezőgazdaság alapvető feltétele az agrotechnikai műveletek átgondolt és megfelelő időben történő elvégzése. A vetés mint kiemelt fontosságú művelet a tenyészidőszak elején meghatározza a termesztés sikerességét, azon belül is a kelés homogenitását. Kísérletünket a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén (47° 33' N, 21° 26' E, 111 m asl) végeztük, nyolc különböző érésidejű kukorica (*Zea mays* L.) hibrid vizsgálatával komplex trágyázási tartamkísérletben. Vizsgálatainkat kontroll és öt eltérő tápanyagszinten végeztük 0–300 kg/ha N dózis között. Az eredményeket a hibridek és a tápanyagkezelések átlagában vizsgáltuk. A kelést öt eltérő napon felvételeztük négy ismétlésben. Minden egyes parcellában randomizáltan kétsoros mintateret jelöltünk ki. Az 5. nap után kelt és a tőhiányos parcellákat jelöltük. Eredményeink alapján az első két napon kelt növényegyedek termésmennyisége szignifikánsan nagyobb volt, mint a harmadik, negyedik, ötödik napon kelt növényegyedeknek. Legnagyobb szemtömeget, csőtömeget és csőhossz értéket és terméseredményt a második napon kelt növényeknél mértük. Az első napon kelt növények szemtermésének fehérjetartalma jelentősen 0,3% értékkel nagyobb volt, mint a második napon kelt növények szemtermésének fehérjetartalma. A betakarításkori szemnedvesség szignifikánsan nagyobb volt a 4. napon kelt növényeknél, mint az első két napon kelt növényeknél. A termésalkotó paraméterek értékeit nagyban befolyásolja a kelés homogenitása, egy állomány egyöntetű kelése. A

vizsgálataink alapján az állomány kelésének eloszlása meghatározza a szemtermés fehérje, keményítő, szemnedvesség és termés alkotó paramétereinek kialakulását.

Kulcsszavak: kelés, vetés, szántóföldi tartamkísérlet, nitrogén

Effect of different agrotechnical parameters on the germination dynamics and yield parameters of different maize hybrids in a long-term field experiment

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

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

Summary

A fundamental prerequisite for modern agriculture is to carry out agrotechnical operations in a well thought-out and timely manner. Sowing, as a priority operation at the beginning of the growing season, determines the success of crop production, including the homogeneity of emergence. Our experiment was carried out at the University of Debrecen's Látókép Experimental Station (47° 33' N, 21° 26' E, 111 m asl), testing eight maize (*Zea mays* L.) hybrids of different maturity in a complex long-term fertilisation experiment. Our experiments were carried out at control and five different nutrient levels ranging from 0 to 300 kg N/ha. Results were averaged across hybrids and nutrient treatments. Germination was recorded on five different days in four replicates. In each plot, two rows of sample plots were randomly assigned. Plots that germinated after day 5 and plots that were deficient were marked. Our results showed that the yields of the first two days were significantly higher than those of the third, fourth and fifth days. The highest grain weight, ear weight and ear length values and yield were measured for plants that emerged on the second day. The protein content of the grain yield of the plants emerged on the first day was significantly higher (by 0.3%) than the protein content of the grain yield of the plants emerged on the second day. Grain moisture at harvest was significantly higher in the

plants that emerged on the fourth day than those that emerged on the first two days. The values of yield parameters were strongly influenced by the homogeneity of germination, i.e. the uniform germination of a stand. Our studies show that the distribution of the stand emergence determines the development of grain yield parameters for protein, starch, grain moisture and yield composition.

Keywords: emergence, sowing, long-term field experiment, nitrogen

Влияние различных агротехнических параметров на параметры всхождения и урожая различных кукурузных гибридов в пахотном продолжительном опыте

А. ИЛЛЕШ – Ч. БОЙТОР – А. САБО – Я. НАДЬ

Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и
Экологического Менеджмента (МЭК),

Институту Землепользования, Технический и Прецизионной Технологии, Дебрецен

Резюме

Основное условие современного сельского хозяйства – проведение агротехнических приёмов в продуманное и подходящее время. Посев, как повышенной важности приём, в начале вегетационного периода определяет успешность выращивания, в том числе и гомогенность всхождения. Наш опыт проводили на Опытной Растениеводческой Станции Дебреценского Университета в местечке Латокеп (Látókép 47° 33' N, 21° 26' E, 111 m asl), с исследованием восьми различного время созревания гибридов кукурузы (*Zea mays* L.) в комплексном продолжительном опыте внесения удобрений. Наши исследования проводили на контрольном и 5 различных уровнях удобрения в дозах 0–300 kg/ha N. Результаты гибридов и доз удобрений исследовали в среднем. Всходы учитывали в 5 разных дней в 4 повторениях. В каждой отдельной парцелле рандомизированно обозначили 2-ух рядные площади образцов. После 5 дня обозначили пацеллы со всходами и с невзошедшими ростками. На основании наших результатов количество урожая взошедших в первые два дня растений было значительно больше, чем у растений, взошедших на третий, четвёртый, пятый день. Самую большую величину массы зерна, массы початка и

длинны початка и результата урожая измерили у растений, взошедших на второй день. Содержание белка урожая зерна растений, взошедших на первый день значительно на величину 0,3% было больше, чем содержание белка урожая зерна растений, взошедших на второй день. Влажность зерна во время уборки была значительно больше у растений, взошедших на 4 день, чем в первые два дня взошедших растений. На показатели создающих урожай параметров в большой мере повлияла однородность всхождения, обнообразное всхождение насаждения. На основе наших исследований разделение всхождения насаждения определяет формирование белка, крахмала, влажности зерна и создающих урожай зерна параметров.

Ключевые слова: всходы, посев, пахотный продолжительный опыт, азот

Bevezetés

A mezőgazdasági termelés napjainkban dinamikusan változó környezetbe került. Az inputanyagok bekerülési költségének növekedése és a rendelkezésre álló terület csökkenése a megtermelt termés értékének növekedését eredményezte, ennek következtében a gazdálkodók elsődleges feladata az átgondolt okszerű gazdálkodási rendszer alkalmazása a hibridek szükségletének kielégítése és az optimális inputanyag felhasználás. Bővülő hibrid paletta áll a gazdálkodók rendelkezésére (Nagy 2021). A helyspecifikus növénytermesztést a termelési célokhoz és az ökológiai feltételekhez optimálisan igazodó módon kell megvalósítani. Széles et al. (2019) vizsgálatai alapján a termesztés során minden alkalmazott hibridnél meg kell határozni a műtrágya határ hatékonyságát.

Macaloney et al. (1996) szerint a kukorica csírázási folyamata három szakaszra oszlik: 1. szakasz: a szemek duzzadása, bőséges vízfelvétel, 2. szakasz: a meglévő sejtek megnyúlása, 3. szakasz: a merisztémasejtek osztódása. Murungu et al. (2003) kísérlete szerint azt állította, hogy a finomabb talajszemcsékkel rendelkező talajoknak jobb a magvak és a talaj szemcsekontaktusa, azaz gyorsabb a vízfelvétel és a csírázás. A gyors kelés befolyásolja a homogén állomány kialakulását, ami jobb körülmények között érhető el. Széles és Huzsvai (2020) vizsgálatai alapján a vetés időpontja a kelés és a termés összefüggése genotípusonként eltérő. A kukorica tenyészidőszakában az eltérő fenofázisok eltérő mértékben gyakorolnak

hatást a növények fiziológiai folyamataira, azon keresztül a termésre (Illés et al. 2021). Nyéki et al. (2021) vizsgálatai alapján a termésbecslés manapság már mesterséges intelligenciával kiegészítve történik különböző modellek elemzésével, melyben a paraméterek pontos ismerete elengedhetetlen, mint például a kelés pontos időpontja.

A sikeres növénytermesztés legfontosabb tényezője a gyors és egyenetlen csírázás, míg a csírázási problémák a lassú, egyenetlen, megbízhatatlan csírázás és az alacsony csírázási erélyű magok miatt jelentkeznek (Matthews 1980). Az alacsony vetés utáni hőmérséklet (8–12 °C) negatívan hat a csírázó kukoricamag élettani aktivitására, viszont a magasabb hőmérséklet hatással van a talaj különböző élőlényekre is, ami lehetővé teszi a csírázás elősegítését (Neal 1949, Pinnel 1949). A nitrogén műtrágyázás volt a leginkább befolyásoló tényező a négyzetméterenkénti csíraszám kialakításában. Az ezermag tömege a kontroll kezelésben volt a legalacsonyabb, és szignifikánsan magasabb az 60 és 120 kg/N kezelésekben (Berzsenyi és Quang 2008). A csírák megjelenése 150:120 N:P dózisonál nem volt homogén. A nitrogén hasznosítás hatékonysága a magas nitrogéndózis hatására mérsékelt volt. Az alacsony nitrogén dózisonál jobban kimutatható volt a N beépülése a növénybe. A biztonságosabb kelést 90:90 kg N:P/ha dózissal érte el (Siddiqui et al. 2008). Hussain (1987) leírta, hogy 100 kg N/ha a kukorica teljes, homogén csírázását eredményezte, ezáltal serkenti a növények növekedését és pozitívan befolyásolja a termést. A csírázás kezdetén a kukorica N felvétele nem nagy mennyiségben, de nagyon intenzív, mert ekkor mobilizálódik a szem tartalék fehérje forrása, amit az ásványi N felvétel segített (Arnon 1975).

Anyag és módszer

Kísérletünket a Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén (47° 33' N, 21° 26' E, 111 m asl) végeztük, nyolc különböző érésidejű kukorica (*Zea mays* L.) hibrid vizsgálatával komplex trágyázási tartamkísérletben. A tartamkísérlet 38 éve változatlan helyszínen és körülmények között van, mely lehetőséget biztosít a nitrogén, mint kiemelt fontosságú makroelem hatásának hosszútávú egzakt vizsgálatára. Vizsgálatainkat kontroll és öt eltérő tápanyagszinten végeztük 0–300 kg/ha N dózis között:

N0=N:0 kg/ha, P₂O₅:0 kg/ha, K₂O:0 kg/ha; N1=N:60 kg/ha, P₂O₅:184 kg/ha, K₂O:216 kg/ha; N2=N:120 kg/ha, P₂O₅:184 kg/ha, K₂O: 216 kg/ha; N3=N:0 kg/ha, P₂O₅:184 kg/ha, K₂O: 216 kg/ha; N4=N:184 kg/ha, P₂O₅:184 kg/ha, K₂O:216 kg/ha; N5=N:300 kg/ha, P₂O₅:184 kg/ha, K₂O:216 kg/ha. Az eredményeket a hibridek és a tápanyagkezelések átlagában vizsgáltuk. A kelést öt eltérő napon felvételeztük négy ismétlésben. Minden egyes parcellában randomizáltan kétsoros mintateret jelöltünk ki, az egyes mintatereken belül belső ismétlésként a parcellában kikelt növényegyedeket használtuk. Az eltérő napon kelt növények ismétlésenkénti megoszlása eltérő. A kelés első napjának a mintaterületen elsőnek megjelenő csíranövény észlelésétől számítjuk. Az 5. nap után kelt és a tő hiányos parcellákat jelöltük. A kelésvételezésnél a 0,5 cm-nél nagyobb csírákat tekintettük kikelt növényeknek, és a nap azonos időpontjában ugyanakkor vizsgáltuk minden egyes parcellát.

Debrecen környezetében a kukorica 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai viszonyai összességében igen kedvezőtlenül alakultak, ami alapvetően a június utolsó dekádjától július teljes egészére jellemző durva hőhullámoknak köszönhető, ami súlyos csapadékhiányos helyzettel párosult. Ennek eredményeként júniusban gyakorlatilag nem hullott csapadék, amely igazából egészen július közepéig kitartott. Ezen hosszú aszályos periódus csúcsán július közepén enyhült (1. ábra).

Eredmények

A hibridek termésmennyiségének vizsgálata során az első két napon kelt növények termésmennyisége szignifikánsan nagyobb volt, mint a vizsgált öt naphól a harmadik, negyedik és ötödik napon kelt növények termésmennyisége. Legnagyobb termést a vizsgált öt tápanyagszint és a teljes negatív kontroll átlagában az első napon mértük 8,65 t/ha értékkel, ehhez képest több mint 18%-kal alacsonyabb termést mértünk az 5. napon kelt növényeknél a kezelések és hibridek átlagában. Az egyedi csőtömegek hasonlóan alakultak, mint a termés mennyisége. Az első két napon kelt növények 136,4 g és 139,3 g átlagtömegű csöveket neveltek, ehhez képest a vizsgálati időszak második felében átlagosan 120 g-os csőtömegű csöveket mértünk (2. ábra).

1. ábra. 2021 tenyészidőszak agrometeorológiai környezete (hőmérséklet és csapadékviszonyai)
(Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Telep)

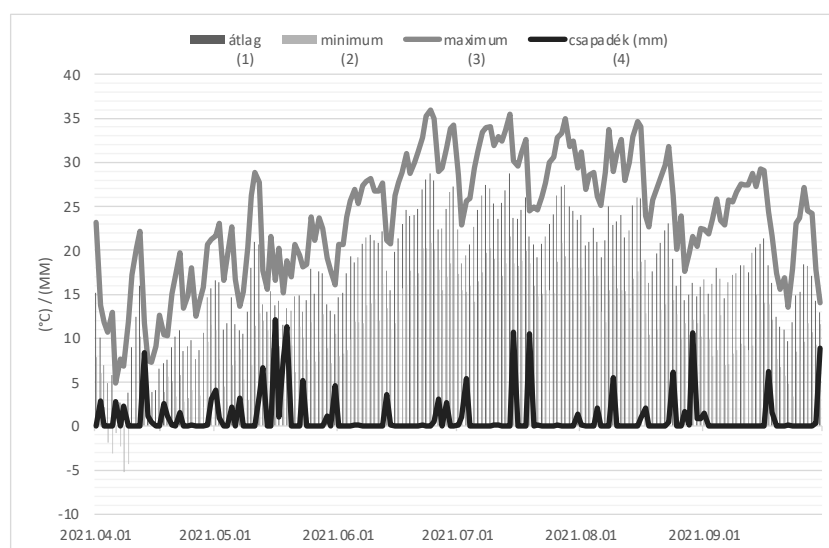


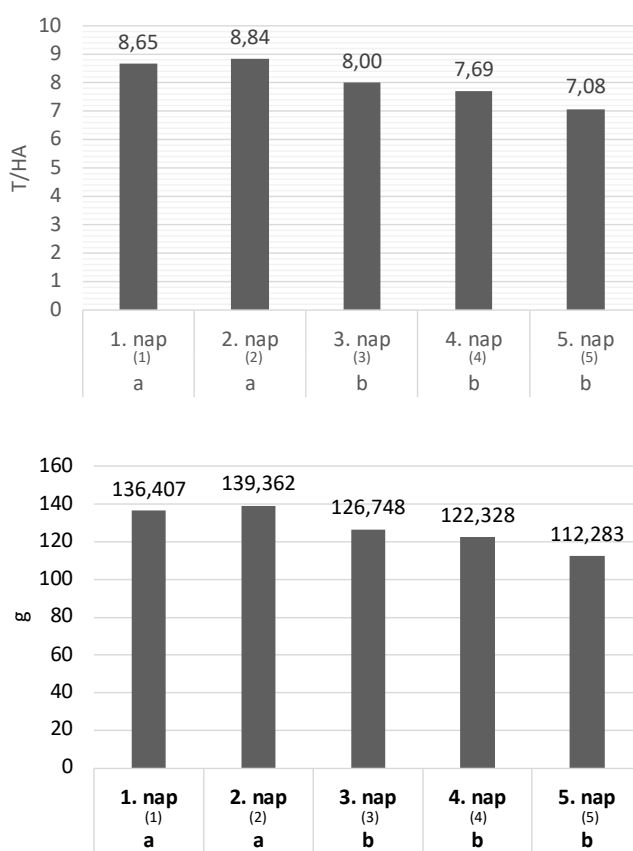
Figure 1. Agrometeorological conditions of the 2021 growing season (temperature and precipitation) (Látókép Experimental Station of University of Debrecen). (1) Mean, (2) Minimum, (3) Maximum, (4) Precipitation (mm)

A termésmennyiségben mért többlet az egyedi csövenként mért szemszám növekedésének köszönhető. A negyedik és ötödik napon kelt növények egyedi szemszám produkciója szignifikánsan alacsonyabb volt, mint az első három napon kelt növények csövenkénti szemszáma. Az első három napon kelt növények átlagos számszáma 383,5 db volt, a negyedik és ötödik napon kelt növények egyedi szemszámának átlaga pedig 337,8 db volt. A keményítőtartalom nem eredményezett a termés mennyiségi paraméterekhez hasonló dinamikát. A legnagyobb keményítőtartalmat a második napon kelt növényeknél mértük 63,8% értékkel (3. ábra).

A kelés időpontja meghatározta a szemnedvesség értékét. A korán kelt növények (első, második nap) szemnedvesség értéke szignifikánsan alacsonyabb volt, mint a később kelt növények szemnedvesség értéke. Legnagyobb értéket a 4. napon kelt növényeknél mértünk, ahol 13,92% volt a termés nedvességtartalma a kezelések és a hibridek átlagában. Az első

napon kelt növények szemtermésének fehérjetartalma jelentősen 0,3% értékkel nagyobb volt, mint a második napon kelt növények szemtermésének fehérjetartalma (4. ábra).

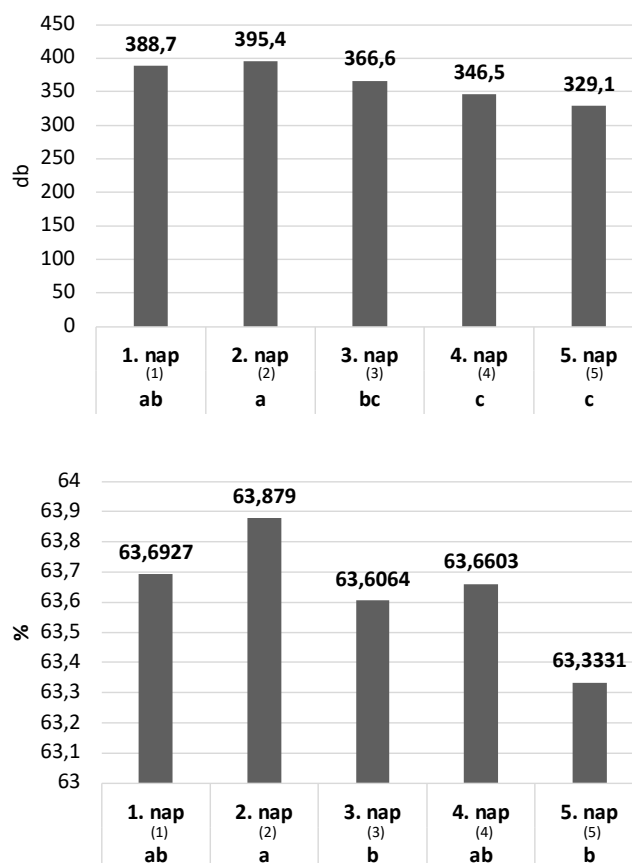
2. ábra. *Eltérő kelési napok hatása a kukorica termésmennyiségére és egyedi csőtömegére (Debrecen, 2021)*



Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 2. Effect of the day of emergence on the yield and individual cob parameters (Debrecen 2021). (1) day 1, (2) day 2, (3) day 3, (4) day 4, (5) day 5, Note: treatments with the same letter are not significantly different.

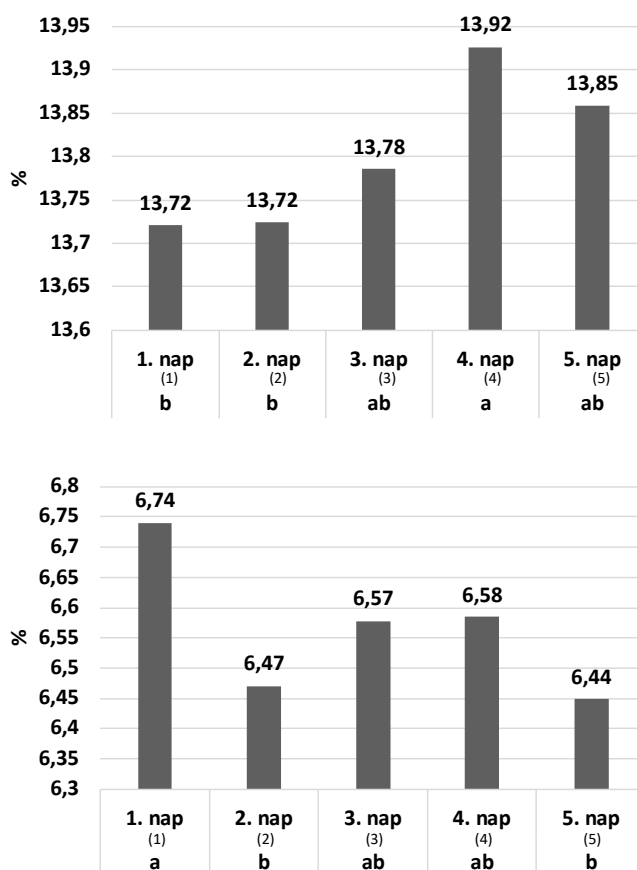
3. ábra. *Eltérő kelési napok hatása a kukorica termésének egyedi szemszámára és keményítőtartalmára (Debrecen, 2021)*



Megjegyzés: az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 3. Effect of the day of emergence on the seed number per cob and starch content (Debrecen 2021). (1) day 1, (2) day 2, (3) day 3, (4) day 4, (5) day 5. Note: treatments with the same letter are not significantly different.

4. ábra. *Eltérő kelési napok hatása a kukorica betakarításkori szemnedvességre és fehérjetartalmára (Debrecen, 2021)*



Megjegyzés: Az eltérő betűkkel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 4. Effect of the day of emergence on the moisture content of the seeds and protein content (Debrecen 2021). (1) day 1, (2) day 2, (3) day 3, (4) day 4, (5) day 5. Note: treatments with the same letter are not significantly different.

Következtetések

A termésalkotó paraméterek értékeit nagyban befolyásolja a kelés homogenitása, egy állomány egyöntetű kelése. A vizsgálataink alapján az

állomány kelésének eloszlása meghatározza a szemtermés fehérje, keményítő, szemnedvesség és termés alkotó paramétereinek kialakulását.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány „A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában és az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 projekt Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

IRODALOM

- Arnon, I.*: 1975. Physiological principles of dryland crop production. Physiological Aspects of Dryland Farming. US.
- Berzsenyi, Z.–Dang, Q.*: 2008. Effect of sowing date and N fertilisation on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) hybrids in a long-term experiment. Acta Agronomica Hungarica. 56. 3: 247–264.
- Hussain, A.*: 1987. Effect of time and rate of nitrogen application on maize. MSc Thesis. NWFP Agriculture University. Peshwar.
- Illés, Á.–Bojtor, Cs.–Mousavi, S. M. N.–Széles, A.–Tóth, B.–Szabó, A.–Nagy, J.*: 2021. Evaluation of Complete Fertilizer in the Aspect of the Antioxidant Enzyme System of Maize Hybrids. Agronomy. 11. 11: Paper: 2129.
- Macaloney, G.–Draper, I.–Preston, J.–Anderson, K. B.–Rollins, M. J.–Thompson, B. G.–Hall, J. W.–McNeil, B.*: 1996. At-line control and fault analysis in an industrial high cell density *Escherichia coli* fermentation, using NIR spectroscopy. Food and Bioproducts Processing. 74. 4: 212–220.
- Matthews, S.*: 1980. Controlled deterioration: a new vigour test for crop seeds. Seed production. London.
- Murungu, F. S.–Nyamugafata, P.–Chiduzo, C.–Clark, L. J.–Whalley, W. R.*: 2003. Effects of seed priming, aggregate size and soil matric potential on emergence of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) and maize (*Zea mays* L.). Soil and Tillage Research. 74. 2: 161–168.
- Nagy J.*: 2021. Kukorica A nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest.
- Neal, N. P.*: 1949. Breeding corn for tolerance to cold. Proc. 4th Annu. Corn and Sorghum Res. Conf. 4: 68–80.

- 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.
- Pinnell, E. L.:* 1949. Genetic and environmental factors affecting corn seed germination at low temperatures. *Agronomy Journal*.
- Siddiqui, M. H.-Oad, F. C.-Jamro, G. H.:* 2008. Emergence and nitrogen use efficiency of maize under different tillage operations and fertility levels. *Asian Journal of plant Sciences*.
- Széles, A.-Huzsvai, L.:* 2020. Modelling the effect of sowing date on the emergence, silking and yield of maize (*Zea mays* L.) in a moderately warm and dry production area. *Agronomy Research*. 18. 2: 579-594.
- 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.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

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

A 2020-as és a 2021-es kukorica tenyészidőszak agrometeorológiai viszonyainak összehasonlító elemzése

NAGY ZOLTÁN - NAGY JÁNOS

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, debrecen

Összefoglalás

Egy adott évjáratban a kukoricatermés eredményeit nagymértékben befolyásolják az adott év tenyészidőszakának agrometeorológiai viszonyai. Ez különösen igaz azon évjáratok esetében, amikor az időjárási körülmények, különösen a hőmérsékleti és csapadék viszonyok szélsőségesen alakulnak. Annak ellenére, hogy a talaj kedvező fizikai és kémiai tulajdonságai, a megfelelő hibrid választás és az agrotechnika képes a kedvezőtlen időjárási hatások csökkentésére, a termésátlagok alakulásában az időjárási körülmények alakulásának még így is meghatározó szerepe van.

A 2020-as és a 2021-es évjárat ilyen szempontból egyfajta „tanuló példaként” szolgálhat, mivel a két év tenyészidőszakának agrometeorológiai viszonyai ellenkező előjellel ugyan, de átlagostól erősen eltérőnek, akár szélsőségesnek is tekinthetők. A 2020-as tenyészidőszak hőmérsékleti viszonyai az átlaghoz képest egyértelműen hűvösebbnek bizonyultak, míg a lehullott csapadék mennyisége, főleg a június-augusztus hónapokban jóval a sokéves átlag felett alakult. A 2021-es évjárat ennek az ellenkező előjelű tükörképe, többszöri erős hóhullámmal és a nyári hónapokban szélsőségesen kevés csapadékkal. A két évjáratban az időjárási viszonyok alakulása egyfajta határokat jelölhet ki kukorica fejlődésének és produkciójának alakulására vonatkozóan.

Az elemzés során megállapítottuk, hogy annak ellenére, hogy az egymást követő két évjárat tenyészidőszakát megelőző őszi-téli, illetve a vetés-keletés időszakát hasonló időjárási körülmények jellemezték, a 2021-es időszak június közepétől július közepéig tartó egyhónapos időszakában fellépő hóhullámok és az ehhez kapcsolódó súlyos

csapadékhiány jelentősen károsította a kukorica normális fejlődését. Ez egyrészt megmutatkozott az intenzív növekedés időszakában a növekedési dinamika idő előtti megtorpanásában, a kialakult alacsony állomány magasságban, valamint az állományfelszín hőmérséklet szélsőséges, esetenként 40 °C körüli alakulásában.

Kulcsszavak: kukorica, időjárás, csapadék, hőmérséklet, hőösszeg, aszály

Comparative analysis of agrometeorological conditions for the 2020 and 2021 maize growing seasons

Z. NAGY – J. NAGY

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

Summary

The agrometeorological conditions of the growing season in a given year have a major influence on the results of the maize yield in a given year. This is particularly true in years when weather conditions, especially temperature and rainfall, are extreme. Despite the fact that favourable physical and chemical soil properties, appropriate hybrid selection and agrotechnology can reduce adverse weather effects, weather conditions still play a decisive role in yield averages.

In this respect, the 2020 and 2021 growing seasons can serve as an example, since the agrometeorological conditions of these two years can be considered as very different from the average, even extreme, although with opposite signs. The temperature conditions of the 2020 growing season were clearly cooler than average, while the amount of precipitation, especially in the months of June-August, was well above the long-term average. The 2021 season is a mirror image of the opposite, with repeated strong heat waves and extremely low precipitation in the summer months. The evolution of weather conditions in the two seasons may mark a boundary for the development and production of maize.

The analysis showed that, despite similar weather conditions in the autumn-winter and the sowing-planting period preceding the growing season of the two consecutive years, the heat waves and the associated severe rainfall deficit during the one-month period from mid-June to mid-July 2021 significantly impaired normal maize development. On the one hand, this was reflected in a premature halt in growth dynamics during the period of intensive growth, in the low stand height that developed, and in extreme variations in stand surface temperatures, sometimes around 40 °C.

Keywords: maize, weather, precipitation, temperature, heat sum, drought

Сравнительный анализ агрометеорологических условий вегетационного периода кукурузы 2020 и 2021 годов

З. НАДЬ – Я. НАДЬ

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

Резюме

В данном году выращивания на результаты урожая кукурузы в большой мере влияют агрометеорологические условия вегетационного периода данного года. Это особенно соответствует действительности в случае тех годов выращивания, когда погодные условия, особенно температурные условия и осадки образуются экстремально. Несмотря на то, что благоприятные физические и химические свойства почвы, соответствующий выбор гибрида и агротехника способны уменьшить неблагоприятные погодные влияния, в формировании средних урожаев погодные условия играют решающую роль.

2020 и 2021 годы выращивания с этой точки зрения могут служить определённым „учебным примером”, поскольку агрометеорологические условия этих двух годов выращивания хотя с противоположными знаками, но в сильном отличии от среднего, можно рассматривать как экстремальные. Температурные условия вегетационного

perioda 2020 года по сравнению со средними однозначно оказались более прохладными, а выпавшее количество осадков, главным образом в июне-августе намного больше многолетнего среднего. А 2021 год выращивания - зеркальное отражение предшествующего года с противоположным знаком, с многократными сильными волнами жаркой погоды в летние месяцы и с крайне малым количеством осадков. В эти два года выращивания формирование погодных условий обозначило определённые границы, касающиеся развития кукурузы и формирования её продукции.

В ходе анализа установили, что несмотря на то, что для следующих друг за другом предшествующим вегетационному периоду двух годов выращивания осенне-зимнему, и периоду посева-всхода характерны похожие погодные условия, в период 2021 года с середины июня до середины июля наступившие волны жаркой погоды и одновременно с этим тяжелая нехватка осадков значительно помешала нормальному развитию кукурузы. Это с одной стороны проявилось в период интенсивного роста в преждевременной приостановке динамики роста, в сформировавшейся низкой высоте насаждения, а также в формировании крайней температуры поверхности насаждения, иногда около 40 °C.

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

Bevezetés

A mezőgazdasági ágazat ki van téve az éghajlat változékonyságnak, melynek közvetett, vagy közvetlen hatásai lehetnek (Anda 2005, Bozó et al. 2010). A kukoricatermesztést többféleképpen befolyásolja az éghajlatváltozás. Az éves átlagos levegőhőmérséklet emelkedés negatív hatásai miatt a kukoricatermesztés biztosításának fő akadályává válik (Anda és Lőke 2004, Lobell et al. 2011, Gombos és Nagy 2021). A hőmérséklet bizonyos küszöbértékek fölé emelkedése szárazsághoz vezet, mivel a növény vízstressztől szenved (Khan et al. 2009). Ez megváltoztathatja a tenyésztési időszak hosszát is (Mo et al. 2016, Liu et al. 2017, Chen et al. 2018, Huang et al. 2018), mivel megnövekszik a fotoszintetikus stressz mértéke, és ezáltal csökken a termés (Széles et al. 2021). Ezen túlmenően a csapadék egy évszakon belüli változékonyságának állapota (Rowhani et al. 2011, Gombos és Nagy 2019), a szélsőséges

csapadék események változásai és a tenyészidőszakban elhúzódó szárazság (*Barron et al.* 2003) nagy hatással lehet a terméshozamra.

Az éghajlatváltozás pozitív hatással is lehet a kukoricatermesztésre, ha hatékony alkalmazkodási lehetőségeket alkalmaznak (*Hunt et al.* 2019). Két költséghatékony alkalmazkodási lehetőség a vetésidő módosítása és a megfelelő fajták kiválasztása (*Tachie-Obeng et al.* 2013, *Jolánkai et al.* 2015, *Khalid et al.* 2021). A hosszabb növekedési periódusú kukoricahibridek vetése, továbbá a vetésmélység, a sortáv, tőtáv alkalmazása, elő- és utóvetemény szerepe, vetésváltás és vetésforgó, helyes tápanyagellátás, okszerű növényápolás, megfelelő időben végzett betakarítás kompenzálhatja az emelkedő hőmérséklet negatív hatását a kukoricatermesztésre (*Márton* 2004, *Huang et al.* 2018 *Jolánkai* 2015, *Pepó* 2021, *Rácz et al.* 2021, *Széles és Huzsvai* 2020, *Széles* 2021, *Horváth et al.* 2021).

Az előrejelzések szerint a hőmérséklet a jövőben tovább fog emelkedni (*Láng* 2006, *Tao et al.* 2011). Hazánkban a nyári átlaghőmérséklet kb. 3 °C-kal történő megemelkedésével, illetve ugyanezen időszakokra a csapadékmennyiség csökkenésével jár majd együtt. Ugyanakkor a szélsőséges időjárási események valószínűsége tovább növekszik, többek között gyakrabban és hosszabban jelentkező aszályos időszakok formájában (*Fodor et al.* 2017, *Kern et al.* 2018).

Környezeti változások, nevezetesen, hogy akár a hő-, akár a vízstressz előfordulásának időpontja döntő fontosságú a kukoricatermesztésre gyakorolt hatások mértékének meghatározásában.

Anyag és módszer

Az elemzésünk során a vizsgált két évre vonatkozóan egyrészt, az Agrárkampusz kísérleti mérőhely, illetve a Debrecen-Látókép telephelyen a Debreceni Egyetem Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet által működtetett meteorológiai mérőrendszer mérési eredményeit használtuk fel. A látóképi mérőállomás működése egész évben folyamatos, míg az Agrárkampusz kísérleti kísérleti terepen működő meteorológiai mérőállomás csak a kukorica tenyészidőszaka alatt üzemelt. A két mérőállomás mérési programja 10 perces időbeli felbontásban a legfontosabb paraméterekre terjedt ki (1. táblázat)

1. táblázat. *Meteorológiai paraméterek*

Látókép (1)	Agrárkampusz (04. 01.-07. 15.) (2)	Agrárkampusz mérési program bővítés 07. 15-től (3)
Léghőmérséklet (2 m)	- Léghőmérséklet - Légnedvesség - Szélsebesség	- Sugárzási egyenleg (komponensekként) - Állományfelszín hőmérséklet infra hőmérővel
Talajhőmérséklet (-20 cm)	- Napsugárzás - Csapadék - Talajfelszín hőmérséklet (+10 cm)	- PAR globál és reflex - Léghőmérséklet és légnedvesség gradiens (állomány felett 0.5 és 3 méterrel)
Napsugárzás	- Talajhőmérséklet (-6 és -20 cm)	- Légnedvesség és szén-dioxid koncentráció LI850 mérőeszközzel
Csapadék	- Talajnedvesség (-6 és -20 cm)	- 3D szónikus anemométer
(4)	(5)	(6)

Table 1. Weather parameters. (1) Látókép Experiment Site, (2) University Campus, 1st April – 15st July, (3) Measurement program extension from 15st July at the University Campus, (4) Soil temperature (-20 cm), Solar radiation, Precipitation, (5) Air temperature, air humidity, wind speed, solar radiation, precipitation, soil surface temperature (+10 cm), soil temperature (-6 and -20 cm), (6) Soil moisture (-6 and -20 cm), (6) Radiation balance (per component), Stand surface temperature with an infra thermometer, PAR global and reflex, air temperature and air moisture gradient (0.5 and 3 m above the stand), air moisture and carbon dioxide concentration measured with a LI850 device, 3D sonic anemometer

Elemzésünk során első lépésként áttekintjük a két évjáratot megelőző őszi-téli időszakot, amely meghatározó jelentőségű a vetési időszak talajnedvesség viszonyaira vonatkozóan. Ezek után képet adunk a két évjárat teljes tenyész-időszakának időjárási körülményeiről, majd részletesebben is elemezzük a főbb fenofázisokat, a meglévő hasonlóságokkal és különbözőségekkel.

Eredmények

Első lépésként elemeztük a 2020-as és a 2021-es tenyészidőszakot megelőző őszi-téli hónapok hőmérsékleti és csapadék viszonyainak alakulását (2–3. táblázat).

2. táblázat. A 2020-as és a 2021-es tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszak hőmérsékleti viszonyai (°C)

Hónapok (1)	2020			2021		
	Átlag (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)	Átlag (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)
Október (5)	12,6	10,9	1,7	11,7	10,9	0,8
November (6)	9,0	5,5	3,5	4,4	5,5	-1,1
December (7)	2,6	0,4	2,2	3,6	0,4	3,2
Január (8)	-1,8	-0,8	-1,0	0,3	-0,8	1,1
Február (9)	3,9	0,9	3,0	1,5	0,9	0,6
Március (10)	6,1	5,8	0,3	4,3	5,8	-1,5

Table 2. Temperatures in the autumn-winter period preceding the 2020 and 2021 growing seasons (°C). (1) Months, (2) Average, (3) Climate average (1991–2020), (4) Difference, (5) October, (6) November, (7) December, (8) January, (9) February, (10) March

A havi átlaghőmérsékleteket tekintve a 2019–2020-as őszi-téli időszak egyértelműen pozitív hőmérsékleti anomáliát mutat. A január kivételével minden hónap átlaghőmérséklete, esetenként jelentősen, meghaladta a sokéves átlagot. Jellemző volt a hónapról-hónapra történő nagyfokú változékonyság.

A 2020–2021-es időszak némileg kiegyensúlyozottabb képpel rendelkezik, ugyanakkor összességében a teljes időszak átlaghőmérséklete ebben az esetben is meghaladta a sokéves átlagot.

A teljes hathónapos időszakot tekintve a 2019–2020-as őszi-téli időszak átlaghőmérsékletére 5,4 °C, míg a 2020–2021-es időszak esetében 4,3 °C adódott, ami a 3,8 °C-os sokéves átlagot tekintve 2019–2020 esetében 1,6 °C, míg 2020–2021 esetében 0,5 °C eltérést eredményezett.

3. táblázat. A 2020-as és a 2021-es tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszak csapadékviszonyai (mm)

Hónapok (1)	2019–2020			2020–2021		
	Havi összeg (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)	Havi összeg (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)
Október (5)	23,3	41,2	-17,9	79,0	41,2	37,8
November (6)	84,3	40,9	43,4	24,2	40,9	-16,7
December (7)	53,6	41,5	12,1	36,0	41,5	-5,5
Január (8)	24,2	24,8	-0,6	49,3	24,8	24,5
Február (9)	42,4	32,5	9,9	40,7	32,5	8,2
Március (10)	34,3	30,0	4,3	16,8	30,0	-13,2

Table 3. Precipitation in the autumn-winter period preceding the 2020 and 2021 growing seasons (mm). (1) Months, (2) Monthly sum, (3) Climate average (1991–2020), (4) Difference, (5) October, (6) November, (7) December, (8) January, (9) February, (10) March

A csapadék viszonyokat tekintve a „hektikusság” mindkét időszakban megfigyelhető, de összességében a teljes időszakra számított csapadékösszeg mindkét esetben meghaladja a sokéves átlagot. A 2019–2020-as időszak esetében a teljes őszi-téli csapadékösszeg 262,1 mm, míg 2020,2021 esetében 246,0 mm, ami a 211,9 mm-es klímaátlagot tekintve mindkét esetben nagyjából hasonló többletet mutat.

Összefoglalva elmondható, hogy a tenyészidőszakot megelőző őszi-téli hónapokat mindkét esetben összességében az átlagosnál melegebb hőmérsékleti viszonyok és az átlagost meghaladó csapadékmennyiség jellemezte. Ugyancsak hasonlóság a két időszak esetében, hogy a téli időszakban egyik esetben sem alakult ki számottevő, tartós hótakaró. Ezek alapján kijelenthetjük, hogy a két tenyészidőszak „startvonalán” számottevő eltérés nem mutatkozott, amely jelentősebb befolyást gyakorolt volna a kukorica későbbi fejlődési állapotára.

A kukorica 2020-as és a 2021-es tenyészidőszakát jellemző agrometeorológiai paraméterek alapján áttekintést adunk a két tenyészidőszak léghőmérsékleti, csapadék és napsugárzási viszonyainak alakulásáról. Az áttekintés során a kísérleti parcellán működtetett agrometeorológiai mérőrendszer adatait

használtuk fel. A mérések alapján elemeztük a havi átlaghőmérsékletek, csapadék és napsugárzás összegek alakulását (4–6. táblázat).

4. táblázat. A 2020-as és a 2021-es tenyészidőszak havi átlaghőmérsékleteinek alakulása (C°)

Hónapok (1)	2020			2021		
	Átlag (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)	Átlag (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)
Április (5)	10,8	11,8	-1,0	9,1	11,8	-2,7
Május (6)	14,0	16,7	-2,7	15,1	16,7	-1,6
Június (7)	19,7	20,2	-0,5	22,6	20,2	2,4
Július (8)	21,0	21,8	-0,8	24,6	21,8	2,8
Augusztus (9)	22,6	21,7	0,9	21,0	21,7	-0,7
Szeptember (10)	18,2	16,5	1,7	16,4	16,5	-0,1

Table 4. Monthly mean temperatures of the 2020 and 2021 growing seasons (°C). (1) Months, (2) Average, (3) Climate average (1991–2020), (4) Difference, (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August, (10) September

5. táblázat. A 2020-as és a 2021-es tenyészidőszak havi csapadékösszegeinek alakulása (mm)

Hónapok (1)	2020			2021		
	Havi összeg (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)	Havi összeg (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (4)
Április (5)	16,5	45,5	-29,0	33,3	45,5	-12,2
Május (6)	45,0	59,3	-14,3	66,1	59,3	6,8
Június (7)	118,5	66,8	51,7	6,4	66,8	-60,4
Július (8)	148,5	67,7	80,8	70,2	67,7	2,5
Augusztus (9)	70,0	46,4	23,6	38,2	46,4	-8,2
Szeptember (10)	47,0	47,3	-0,3	18,6	47,3	-28,7

Table 5. Monthly precipitation sums of the 2020 and 2021 growing seasons (mm). (1) Months, (2) Monthly sum, (3) Climate average (1991–2020), (4) Difference, (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August, (10) September

6. táblázat. A 2020-as és a 2021-es tenyészidőszak havi globálsugárzás összegeinek alakulása

Hónapok (1)	2020			2021		
	Havi összeg (kJ/cm ²) (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (%) (4)	Havi összeg (kJ/cm ²) (2)	Klímaátlag (1991–2020) (3)	Eltérés (%) (4)
Április (5)	57,2	49,1	16,5	44,5	49,1	-9,4
Május (6)	61,9	62,5	-1,0	61,7	62,5	-1,3
Június (7)	61,4	66,6	-7,8	80,0	66,6	20,1
Július (8)	68,7	67,4	1,9	70,7	67,4	4,9
Augusztus (9)	63,1	59,4	6,2	58,1	59,4	-2,2
Szeptember (10)	44,7	39,3	13,7	44,1	39,3	12,2

Table 6. Monthly global radiation sums of the 2020 and 2021 growing seasons. (1) Months, (2) Monthly sum (kJ per cm²), (3) Climate average (1991–2020), (4) Difference (%), (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August, (10) September

A kukorica tenyészidőszakának kezdeti hónapjait tekintve, mindkét év tavaszi hónapjaira (április, május) jellemzőek voltak az átlagosnál hűvösebb hőmérsékleti viszonyok, amelyek főleg a 2020-as évben az átlagosnál kevesebb csapadék mennyiséggel párosultak. Az éjszakai minimum hőmérsékletek szinte kivétel nélkül 10 °C alatt, sokszor 5 °C, vagy még az alatt alakultak. Ezen kedvezőtlen hőmérsékleti viszonyok az átlagosnál kevesebb csapadékkal párosulva kedvezőtlenül befolyásolták a csírázást, illetve a korai fejlődés időszakát. A besugárzás havi összegeit tekintve mindkét május esetében átlagos, míg áprilisban egymással ellentétes előjellel, de jelentősebb eltérések jelentkeztek a sokéves átlaghoz képest (2020 16,5%; 2021 -9,4%).

Következtetések

A két tenyészidőszak alapvető agrometeorológiai viszonyai lényegesen nem tértek el egymástól, így nemcsak az őszi-téli körülmények, hanem az azt követő tavaszi időszakot is többé-kevésbé azonos feltételek jellemezték a kukorica fejlődésének szempontjából.

A tenyészidőszakok korai időszakára jellemző hasonlóság a vegetatív időszak első két nyári hónapjára (június-július), az intenzív növekedés és a virágzás időszakára, gyökeresen megváltozott és két egymással teljesen ellenkező körülményrendszer eredményezett. A 2020-as tenyészidőszak átlagosnál egyértelműen hűvösebb hőmérsékleti viszonyai hatására elmaradtak a korábbi években gyakran jelentkező tartós és erős hóhullámok. Ugyanakkor a 2021-es év ezen két hónapjában június utolsó dekádjától két alkalommal is kialakult egy kb. 10–10 napos (06. 21–30. és 07. 07–18.), erős hóhullám, amely során a napi átlaghőmérsékletek jellemzően 25 °C, míg a maximum hőmérsékletek 35 °C fölé emelkedtek. Ugyanakkor ezen felül, augusztust is beleértve, többször előfordult néhány rövidebb, pár napos időszak, amikor a hőmérsékleti maximumok 35 °C körül alakultak. A két tenyészidőszak hőmérsékleti viszonyainak alakulása jól jellemezhető a hőösszegek követhető a hőösszegek alakulásával (1. ábra).

1. ábra. A hőösszeg alakulása a kukorica 2020-as és 2021-es tenyészidőszakában

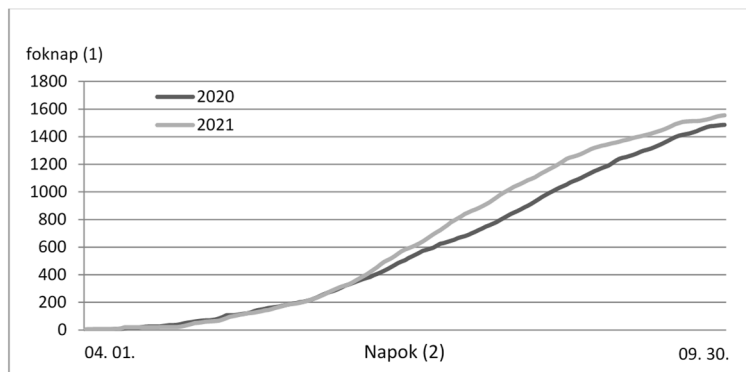


Figure 1. Heat sum in the 2020 and 2021 maize growing seasons. (1) Degree days, (2) Days

Az ábra adatai egyértelműen mutatják a hőösszeg görbéinek június utolsó dekádjától történő szétválása, amely különbség a 2021-es év augusztusának átlagosnál kissé hűvösebb, illetve szeptemberének átlag körüli hőmérsékleti viszonyai miatt, a tenyészidőszak végére mérséklődött. Ennek eredményeképpen a teljes tenyészidőszak hőösszegére 2020-ban 1485, míg 2021-ben 1555 foknap adódott. A két érték közötti nem túl szembetűnő különbség rámutat arra a

tényre, hogy a teljes tenyészidőszakra számított hőösszeg esetenként nem tudja reális módon leírni azt a hőmérsékleti viszonyokban jelentkező különbséget, ami a kukorica szempontjából meghatározó. Ennek figyelembe vételével mindenképpen célszerű az egyes fejlődési fázisok, de különösen a vegetatív szakasz második felére eső időszak hőösszeg viszonyainak részletesebb elemzése, amit a későbbiekben meg is teszünk.

A két tenyészidőszak csapadékkal történő ellátottsága ugyancsak egymás ellentétes tükörképei. Míg a 2020-as év június-augusztus időszaka több évtized távlatában is a legcsapadékosabb nyári időszaknak számított 400 mm-es összmenyiséget produkálva, addig a 2021-es évben az említett kedvezőtlen hőmérsékleti értékek súlyos aszályhelyzettel párosultak. Ennek hatására június lényegében csapadékmentesen alakult és egy, július első napjaiban mért 10 mm körüli csapadéktól eltekintve, a súlyos aszályos helyzet július közepéig fennmaradt. Annak ellenére, hogy a július közepétől többször előforduló csapadék események a havi csapadék összeget átlagossá tették, a lehullott csapadék jellemzően konvektív helyzetekhez kapcsolódott, amely a vitathatatlan előnyök mellett időnként komoly károkat is okozott, mint például a környéket sújtó július 15-i súlyos jégverés. Ez a jégverés tovább rontotta a súlyos aszályos helyzet miatt kialakult állapotot (7. táblázat).

A 2021-es év esetében két, egymást négy nap különbséggel követő hőhullám alakult ki, melyek egyenként 13, illetve 10 nap hosszúak voltak. Amennyiben külön-külön tekintjük ezen időszakokat, akkor a 2021-es aszályos időszak nem tekinthető kirívóan szélsőségesnek, ugyanakkor ha egyben kezeljük a két helyzetet, akkor a 23 napos időtartam már más képet mutat. Másrészt, ha az említett 23 nap hőmérsékleti értékeit tekintjük, akkor a napok összességét jellemző 26,2 °C napi átlag, a 32,6 °C átlagos maximum és a 19,2 °C átlagos minimum már a legszélsőségesebb esetek közé sorolja az ideai aszályos időszakot. A teljesség kedvéért meg kell jegyeznünk, hogy az összehasonlítás során nem teljesen azonos körülményeket hasonlítunk össze, mivel a táblázatban szereplő adatok az Országos Meteorológiai Szolgálat mérőállomásairól származnak, míg esetünkben a 2021-es évben az Agrárkampusz mögötti kísérleti területen, kukorica állomány feletti mérésekből adódnak az értékek. Ugyanakkor az említett időszakra a látóképi mérésekből rendre 25,7 °C, 32,4 °C és 18,6 °C érték adódik, amely lényegében nem változtat az előbbi megállapításunkon.

7. táblázat. Az 1901–2019-es időszak július-augusztus hónapjainak aszályos (csapadékmentes) periódusai 10 évenkénti bontásban

Időszak (1)	Periódusok összes napja (2)	Leg- hosszabb periódus (3)	T _(átlag) periódusok összes napja (4)	T _{max(átlag)} periódusok összes napja (5)	T _{min(átlag)} periódusok összes napja (6)
1901–1910	79	23	22,7	31,3	13,7
1911–1920	58	11	24,2	32,6	14,3
1921–1930	129	24	24,5	33,2	14,1
1931–1940	63	14	25,0	31,5	17,4
1941–1950	90	15	23,7	32,7	14,7
1951–1960	80	15	23,6	30,5	15,4
1961–1970	41	13	24,2	31,4	16,3
1971–1980	25	8	23,8	31,2	16,8
1981–1990	104	24	23,6	30,6	16,1
1991–2000	135	16	23,7	31,1	16,4
2001–2010	102	13	22,7	30,0	15,4
2011–2020	145	25	24,3	31,0	16,7

Megjegyzés: amennyiben az időszak hossza ≥ 5 nap és az időszak T_{\max} átlaga ≥ 30 °C.

Table 7. Drought (no precipitation) periods for the months of July-August 1901-2019, broken down by 10 years. (1) Periods, (2) Total number of days in the period, (3) Longest period, (4) T(average) total number of days in the period, (5) Tmax(average) total number of days in the period, (6) Tmin(average) total number of days in the period, Note: if the period ≥ 5 days and the T_{\max} average of the period ≥ 30 °C.

A tenyészidőszak generatív augusztus-szeptember időszakát tekintve megállapíthatjuk, hogy a június-július hónapban kialakult kedvezőtlen hőmérsékleti és csapadék viszonyok enyhültek, és a 2020-as tenyészidőszakhoz képest a havi átlaghőmérsékletek alacsonyabban alakultak, míg a csapadék esetében augusztus átlag körüli, addig szeptember az átlagtól jelentősebb eltérést, hiányt mutat.

A két tenyészidőszak agrometeorológiai viszonyainak összehasonlítását a párolgási és csapadék viszonyok összehasonlításával egészítjük ki, amely

mindkét évjáratban a május-augusztus időszakra vonatkozik. Mind a csapadék, mind a párolgás esetében az akkumulált mennyiségek alakulását tüntettük fel, melyek szemléletesen mutatják az említett paraméterek alakulását illetve eltéréseit. A párolgási értékek számításához első lépésként a FAO56 módszerrel meghatároztuk a referencia evapotranspiráció értékét, majd ezt az értéket módosítottuk a kukorica adott fejlődési szakaszára jellemző „K” értékkel. A csapadék, illetve az előbbi módon meghatározott párolgási értékek alakulása jelentősen eltér a két tenyészidőszakban vonatkozóan (2-3. ábra).

2. ábra. A párolgási és a csapadékvizonyok alakulása (2020. 05. 01.–08. 31.)

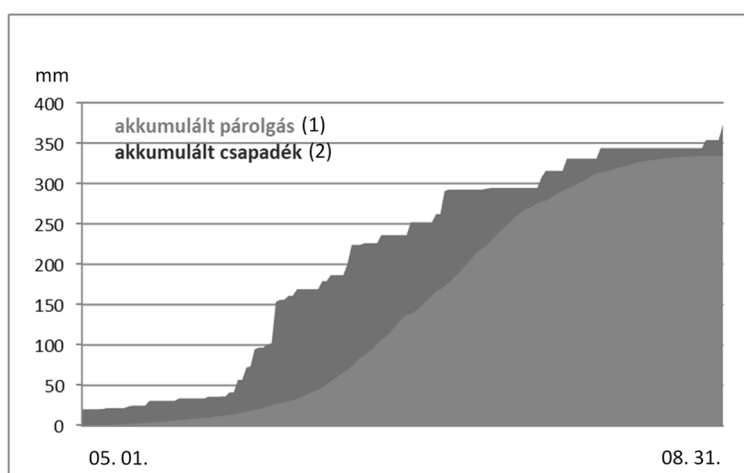


Figure 2. Evaporation and precipitation trends (01/05/2020-31/08/2020). (1) Accumulated evaporation, (2) Accumulated precipitation

A két ábra jellegének alapvető különbözősége szemléletesen jelzi a két tenyészidőszak vízellátottságának alakulását. Értékes eredmény hogy augusztus végére az irodalmi „K” értékekkel számított evapotranspiráció csak kisebb eltérést mutatnak a két tenyészidőszak esetében, rávilágítva ezen „K” tényező korlátozott használhatóságára.

3. ábra. A párolgási és a csapadékviszonyok alakulása (2021. 05. 01.–08. 31.)

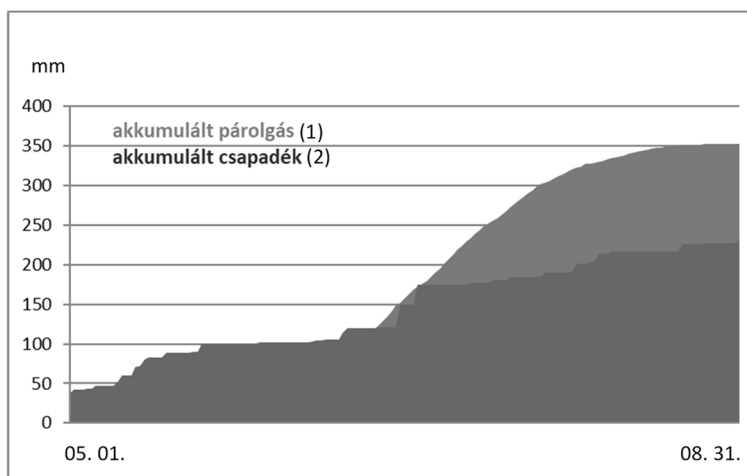


Figure 3. Evaporation and precipitation trends (01/05/2021-31/08/2021). (1) Accumulated evaporation, (2) Accumulated precipitation

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány „A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában és az Innovációs és Technológiai Minisztérium ÚNKP-21-3-I kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési, valamint az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 projekt Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.

IRODALOM

- Anda A.: 2005. A klímaváltozás hazai mezőgazdasági következményei. KLÍMA-21 Füzetek 41: 18-29.
- Anda A.-Lőke Zs.: 2004. A sugárzás- és a hőháztartási mérleg komponenseinek alakulása eltérő sűrűségű kukorica hibridekben. Növénytermelés. 35: 389-398.

- Barron, J.-Rockström, J.-Gichuki, F.-Hatibu, N.*: 2003. Dry Spell Analysis and Maize Yields for Two Semi-Arid Locations in East Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*. 117: 23-37.
- Bozó L.-Horváth L.-Láng I.-Báry A. (szerk.)*: 2010. Környezeti Jövőkép – Környezet-és Klímabiztonság. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest.
- Chen, B. Q.-Liu, E.-Mei, X. R.-Yan, C. R.-Garréc, S.*: 2018. Modelling soil water dynamic in rain-fed spring maize field with plastic mulching *Agric. Water Management*. 198: 19-27.
- Fodor N.-Pásztor L.-Árendás T.*: 2017. Kukoricatermesztés – várható veszélyek és potenciális lehetőségek a klímaváltozás kapcsán. *Agrofórum Extra*. 72: 6-7.
- Gombos B.-Nagy J.*: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés*. 69. 2: 5-23.
- Gombos B.-Nagy Z.*: 2021. A kukorica éghajlatigénye. [In: Nagy J. *Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia.*] Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest. 165-172.
- 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.
- Huang, S. B.-Lv, L. H.-Zhu, J. C.-Li, Y. B.-Tao, H. B.-Wang, P.*: 2018. Extending growing period is limited to offsetting negative effects of climate changes on maize yield in the North China Plain *Field Crops Res.* 215: 66-73
- Hunt, J. R.-Lilley, J. M.-Trevaskis, B.-Flohr, B. M.-Peake, A.-Fletcher, A.-Zwart, A. B.-Gobbett, D.-Kirkegaard, J. A.*: 2019. Early sowing systems can boost Australian wheat yields despite recent climate change. *Nat. Clim. Change*. 9: 244-247.
- Jolánkai M.*: 2015. Éghajlatváltozás és növénytermesztés. *Agrofórum*. 1: 26-27.
- Jolánkai, M.-Tarnawa, Á.-Horváth, Cs.-Nyárai, H. F.-Kassai, K.*: 2015. Impact of climatic factors on yield quantity and quality of grain crops. *Quarterly Journal of Hungarian Meteorological Service*. 120. 1: 73-84.
- Kern, A.-Barcza, Z.-Marjanović, H.-Árendás, T.-Fodor, N.-Bónis, P.-Bognár, P.-Lichtenberger, J.*: 2018. Statistical modelling of crop yield in Central Europe using climate data and remote sensing vegetation indices. *Agricultural And Forest Meteorology*. 260-261: 300-320.
- Khalid, N.-Tarnawa, Á.-Kende, Z.-Kassai, K. M.-Jolánkai, M.*: 2021. Viability of maize (*Zea mays* L) seeds influenced by water, temperature, and salinity stress. *Acta Hydrologica Slovaca*. 22. 1: 113-117.
- Khan, S. A.-Kumar, S.-Hussain, M. Z.-Kalra, N.*: 2009. Climate Change, Climate Variability and Indian Agriculture. [In: Singh, S. N. (ed.) *Climate Change and Crops.*] Springer. Berlin. Heidelberg. 19-38.
- Láng I.*: 2006. A Globális klímaváltozás: hazai hatások és válaszok – VAHAVA zárójelentés. MTA. Budapest.

- Liu, Y. J.-Qin, Y.-Ge, Q. S.-Dai, J. H.-Chen, Q. M.*: 2017. Responses and sensitivities of maize phenology to climate change from 1981 to 2009 in Henan Province, China. *J. Geogr. Sci.* 27: 1072-1084.
- Lobell, D. B.-Schlenker, W.-Costa-Roberts, J.*: 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science*. 333. 6042: 616-620.
- Márton L.*: 2004. A műtrágyázás és a csapadék változékonyságának hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére. *Agrokémia és talajtan*. 54. 3-4: 309-324.
- Mo, F.-Sun, M.-Liu, X. Y.-Wang, J. Y.-Zhang, X. C.-Mab, B. L.-Xiong, Y. C.*: 2016. Phenological responses of spring wheat and maize to changes in crop management and rising temperatures from 1992 to 2013 across the Loess Plateau. *Field Crops Res.* 196: 337-47.
- Pepó P.*: 2021. Vetésváltás monokultúra. [In: Nagy J. Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia.] Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest. 192-196.
- Rácz, D.-Szóke, L.-Tóth, B.-Kovács, B.-Horváth, É.-Zagyvi, P.-Duzs, L.-Széles, A.*: 2021. Examination of the Productivity and Physiological Responses of Maize (*Zea mays* L.) to Nitrapyrin and Foliar Fertilizer Treatments. *Plants*. 10. 11: 2426.
- Rowhani, P.-Lobell, D. B.-Linderman, M.-Ramankutty, N.*: 2011. Agricultural and Forest Meteorology Climate Variability and Crop Production in Tanzania. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 449-460.
- Széles A.*: 2021. Trágyázás. [In: Nagy J. Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia.] Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest. 247-332.
- Széles, A.-Horváth, É.-Rácz, D.-Duzs, L.-Bojtor, Cs.-Huzsvai, L.*: 2021. Development of stomatal conductance of maize under moderately hot, dry production conditions. *Agronomy Research*. 19. 4: 2013-2025.
- Széles, A.-Huzsvai, L.*: 2020. Modelling the effect of sowing date on the emergence, silking and yield of maize (*Zea mays* L.) in a moderately warm and dry production area. *Agronomy Research*. 18. 2: 579-594.
- Tachie-Obeng, E.-Akponikpè, P. B. I.-Adiku, S.*: 2013. Considering effective adaptation options to impacts of climate change for maize production in Ghana. *Environ. Dev.* 5: 131-145.
- Tao, F.-Zhang, Z.*: 2011. Impacts of Climate Change as a Function of Global Mean Temperature: Maize Productivity and Water Use in China. *Climatic Change*. 105: 409-432.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

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

A nitrogén-hasznosítást növelő nitrapyrin hatékonysága vályogtalajon termesztett kukoricában

RÁCZ DALMA - HORVÁTH ÉVA - ZAGYI PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK,

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A növények stressztűrési képességét meghatározó tényezők tanulmányozása a klímaváltozás következtében egyre indokoltabbá válik. A szántóföldi kultúrák általános kondícióját meghatározó tényezők egyike a tápanyagellátás, illetve a tápanyagok hasznosíthatósága. A nitrogén (N) utánpótlása a kukorica számára különösen fontos, mivel meghatározza a termésmennyiséget. A N visszapótlása legtöbbször műtrágyázás útján valósul meg, amelynek hatékonysága a különböző eredetű veszteségek miatt nem kielégítő. A nitrát-ionok kimosódása következtében jelentős N-vesztés léphet fel, a N-felvétel hatékonysága csökken, így a növény kondíciója, fejlődése alulmarad. A kereskedelmi forgalomban kapható nitrifikációs inhibitorok alkalmazásával a nitrát-ionok kimosódása jelentősen mérsékelhető, ugyanis hatásmechanizmusuk során a nitrifikáló baktériumok metabolizmusának megzavarásával az ammónium-ionok hosszú távon elérhetőek maradnak a növények számára. A különböző szerkezetű és állapotú talajok nitrát-ion kimosódása eltérő intenzitású, jelen tanulmány a nitrapyrin hatóanyagtartalmú nitrogén-stabilizátor hatékonyságát vizsgálja vályogtalajon, kukorica növényben.

Kulcsszavak: nitrifikációs inhibitor, talajszerkezet, nitrogén, nitrapyrin

Efficacy of nitrapyrin to increase nitrogen use in maize grown on loam soils

D. RÁCZ - É. HORVÁTH - P. ZAGYI

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

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

Summary

The study of the factors that determine the stress tolerance of plants is becoming increasingly relevant as a result of climate change. One of the factors that determine the general condition of arable crops is the supply of nutrients and the availability of nutrients. Nitrogen (N) supply is particularly important for maize as it determines yield. N replenishment is mostly achieved by fertilisation, the efficiency of which is not satisfactory due to losses from various sources. The leaching of nitrate ions can lead to a significant loss of N, reducing the efficiency of N uptake and thus the condition and development of the plant. The use of commercially available nitrification inhibitors can significantly reduce the leaching of nitrate ions, as their mechanism of action is to keep ammonium ions available to plants over the long term by interfering with the metabolism of nitrifying bacteria. The leaching of nitrate ions in soils of different textures and conditions is of different intensities, and the present study investigates the efficacy of the active nitrogen stabiliser nitrapyrin in loam soil in maize plants.

Keywords: nitrification inhibitor, soil structure, nitrogen, nitrapyrin

Эффективность увеличивающего использование азота нитрапирина в выращенной на суглинистой почве кукурузе

Д. РАЦ – Е. ХОРВАТ – П. ЗАДЬИ

Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и Экологического Менеджмента (МÉК), Институт Землепользования, Технический и Прецизионной Технологии, Дебрецен

Резюме

Изучение факторов, определяющих стрессоустойчивые способности растений, становится все более обоснованным вследствие изменения климата. Одним из факторов, определяющих общую кондицию пахотных культур, является обеспечение питательными веществами, а также используемость питательных веществ. Дополнение азота (N) особенно важно для кукурузы, так как определяет количество урожая. Дополнение N чаще всего осуществляется в форме внесения искусственного удобрения, эффективность которого из-за разного рода потерь неудовлетворительна. Вследствии вымывания ионов нитрата появляются значительные потери N, и эффективность приёма N уменьшается, так кондиция растения, его развитие отстаёт. Применением предлагаемых в торговом обороте нитрификационных ингибиторов вымывание нитрат-ионов можно значительно уменьшить, поскольку в ходе механизма их действия, мешая метаболизму нитрификационных бактерий, ионы аммония остаются достигаемыми для растений в течении долгого времени. Вымывание ионов нитрата почв различной структуры и состояния происходит с различной интенсивностью, данная работа исследует эффективность стабилизатора азота, содержащего действующее вещество нитрапирин на суглинистой почве в кукурузе.

Ключевые слова: ингибитор нитрификации, структура почвы, азот, нитрапирин

Bevezetés

A globális klímaváltozás okozta egyre szélsőségesebb időjárási körülmények fokozott stressztűrésre kényszerítik a termesztett növényeket. A kukorica hazánkban és nemzetközi viszonylatban is gazdasági szempontból az egyik legfontosabb kultúrnövény, így napjainkban a növény stresszre adott válaszreakcióit vizsgáló tanulmányok egyre nagyobb számban jelennek meg (*Xu et al.* 2016).

A sikeres kukoricatermesztés egyik alapja a megfelelő tápanyagutánpótlás. A növény egészséges fejlődése, biomassza gyarapodása és termésmennyisége leginkább a talajban felvehető, elérhető nitrogén (N) mennyiségétől függ (*Schlüter et al.* 2012). *Széles et al.* (2019) tanulmányukban hangsúlyozták, hogy a kukorica a fokozódó stressz körülményekkel szembeni toleranciája megfelelő N-utánpótlással, szükség esetén annak mennyiségi növelésével növelhető. A kukorica N igénye rendkívül magas, mindazonáltal közismert tény, hogy a túlzott N műtrágyázás hatására nem tapasztalható termésmenyekekedés. Sőt, a felesleges N műtrágyázás miatti N eredetű veszteségek kockázata jelentős mértékben növekszik, amely súlyos környezetvédelmi problémákhoz vezet (*Morell et al.* 2011). A N veszteségének hátterében többnyire a nitrát kimosódás, az ammónia párologás és a denitrifikáció folyamatai állnak (*Buzás* 1983). Korábbi tanulmányok is megerősítették, hogy a veszteségek jelentős részéért a nitrátion kimosódása felel (*Cameron et al.* 2013, *Futó et al.* 2016, *Zhang et al.* 2017). A nitrátion mozgékonyaságából adódóan a talajvízbe könnyen kimosódik, ezzel rontva az ivóvíz minőségét, amelynek fogyasztása jelentős humánegészségügyi kockázattal jár (*Dimpka et al.* 2020).

Közismert tény, hogy a kijuttatott N műtrágyák hatékonysága közel sem teljes. Egyes becslések szerint a kijuttatott mennyiség mindössze fele tud hasznosulni a növények számára (*Syswerda et al.* 2012). A N veszteségének mértékét, intenzitását egyrészt az adott időjárási tényezők határozzák meg, hiszen fokozott veszteségekkel számolhatunk a trópusi területen a magasabb hőmérséklet miatt, illetve ahol nagy mennyiségű csapadék hullik (*Weier* 1994). Másrészt a talajszerkezet is nagyban befolyásolja a N veszteség mértékét, ugyanis a nagy pórusméretű és áteresztőképességű, homoktalajokon szignifikáns lehet a nitrátion kimosódás (*Hess et al.* 2020, *Rácz és Radócz* 2020). Habár a N hatóanyagtartalmú műtrágyákat pontosan a N veszteségek

csökkentése miatt legtöbbször megosztva juttatják ki kukoricában (fejtrágya), a N műtrágyázás hatékonyságának fokozása még mindig kihívást jelent. A globális klímaváltozás hatására egyre gyakoribbak a hirtelen, nagy mennyiségben érkező csapadékok, az elnyúló aszályok, amely a talajok kiszáradásához, rendkívül kedvezőtlen vízgazdálkodásához vezet. Ilyen kedvezőtlen körülmények között a N veszteség még drasztikusabb lehet (Congreves et al. 2016). A hatékony N-felvétel, illetve hasznosítás elengedhetetlen a kukorica egészséges fejlődéséhez. Számos tanulmány hangsúlyozza a N fontosságát a növény enzimatikus stresszválaszainak vizsgálata során. Illés et al. (2021) kiemelték, hogy vizsgálatukban a kijuttatott N mennyiségének növelése hozzájárult a lipid-peroxidáció mértékének, illetve az aszkorbát-peroxidáz antioxidáns enzim aktivitásának csökkenéséhez, amelyek fontos stressz indikátorai a növényeknek.

A N veszteségek csökkentését szolgáló N-stabilizátorok alkalmazása a hazai termesztéstechnológia gyakorlatában még nem terjedt el, azonban a hatékonyságukat vizsgáló tanulmányok száma egyre növekszik. A technológia célja a növények számára felvehető N formák biztosítása a talajban, amely révén javul a növények N felvételének hatékonysága, a növények kondíciója, terméshozama. A nitrát-ionok kimosódásának csökkentésére szolgál az ún. nitrifikációs inhibitor, amely egyik legelterjedtebb hatóanyaga a nitrapyrin (Woodward et al. 2021). A nitrapyrin hatásmechanizmusa során a talajban lévő *Nitrosomonas* sp. nitrifikáló baktériumok metabolizmusát megzavarva (blokkolja az ammónia-monooxigenáz (AMO) enzim működését) lassul az ammónium-ionok oxidációja, csökken a képződött és kimosódott nitrát-ionok mennyisége, így ezek az ammónium-ion N-formák hosszabb távon elérhetővé válnak a talajban a növények számára, amely pedig jobb kondíciót, illetve magasabb terméshozamot eredményez (Papp 2014, Woodward et al. 2021).

Habár a nitrapyrin hatékonysága bizonyított, a hatásosságát fokozó vagy csökkentő tényezőkkel kapcsolatban még nem rendelkezünk minden információval. Tekintve, hogy a nitrapyrin a talajban fejti ki hatását, számos talajtani tényező jelentős hatást gyakorolhat a hatóanyag működésére. Homoktalajon, amelynek szerkezete laza, vízmegtartó képessége alacsony, a nitrátion-kimosódást csökkentő nitrapyrin igen hatékony lehet (RÁCZ és Radócz 2020) azonban keveset tudni arról, hogy más tulajdonságokkal bíró talajszerkezet esetében is számolhatunk-e hasonló hatékonysággal. Jelen

tanulmány a nitrapyrin hatékonyságának vizsgálatára irányul vályogtalajon, kukorica állományban. Kísérletünk során a nitrapyrin hatékonyságát a talajban mért nitrát-ionok mennyiségének, a kukorica levelek relatív klorofill tartalmának, illetve a termés mennyiségi és minőségi paramétereinek mérésén keresztül követtük nyomon.

Anyag és módszer

A kísérlet beállítása, talajtulajdonságok

Vizsgálatainkat Hajdú-Bihar megyében (2020, A: 47.454538 21.466438; B:47.496005606412545 21.581780913943476) végeztük két éven keresztül (2020, 2021). A kísérleti helyszín talajtípusa vályog A laboratóriumi vizsgálatokat a HL-Lab Talajvizsgáló Laboratóriuma végezte (1. táblázat).

1. táblázat. *A kísérlet helyszínek (A és B) főbb talajtulajdonságai*

	A vizsgálat paraméterek (1)	B vizsgálat paraméterek (2)
pH _{KCl}	5,45	6,25
Arany-féle kötöttségi szám (K _A) (3)	46	41
Vízben oldható összes só (m/m%) (4)	0,07	0,03
Szénsavas mész (m/m%) (5)	<0,1	<0,1
Humusz (m/m%) (6)	2,2	2,5
Nitrogén-nitrit-nitrát (KCl-oldható) mg/kg/légsz.a.) (7)	37	17
AL-oldható K ₂ O (mg/kg) (8)	405	349
AL-oldható P ₂ O ₅ (mg/kg) (9)	371	464

Table 1. Main soil properties of the experimental sites (A and B). (1) Studied parameters A, (2) Studied parameters B, (3) Arany's plasticity index, (4) Total water-soluble salt (%w/w), (5) Calcareous lime (%w/w), (6) Humus (%w/w), (7) Nitrogen-nitrite-nitrate (KCl-soluble) (mg kg⁻¹), (8) AL-soluble K₂O (mg kg⁻¹), (9) AL-soluble P₂O₅ (mg kg⁻¹)

Kísérletünket kukoricában (P9903, FAO 390) állítottuk be. A vetésük 2020-ban 04. 09-én, 2021-ben 04. 27-én történt. 2020-ban vetés előtt (05. 13.) 250 kg/ha MAS (27% N) műtrágya, 2020-ban pedig (06. 07.) 180 kg/ha karbamid (46% N) műtrágya került kijuttatása. A nitrapyrin hatóanyag-

tartalmú nitrogén stabilizátor kijuttatása mindkét évben a vetés megelőzően (2020. 04. 08.; 2021. 04. 27.) történt, kipermetezve (1,7 l/ha; 300 l víz/ha), majd talajba dolgozva (3–5 cm mélyen).

A 2020 és 2021-es év klimatikus viszonyai

A vizsgált két év klimatikus viszonyai meglehetősen különböztek egymástól. 2020-ban egy sokkal kedvezőbb évjáratot tapasztaltunk, amely során rendszeres (a vetéstől számítva az 5. héttől kezdve minden héten átlagosan 21,6 mm csapadék), kielégítő csapadékhozam (a vegetáció alatt összesen átlagosan 244,6 mm csapadék) segítette a növények egészséges fejlődését és tápanyagfelvételét a talajból, illetve a légköri hőmérséklet tekintetében sem tapasztaltunk kiugróan magas értékeket (*1. ábra*). Ezzel szemben, a 2021-es évet hektikusság jellemezte. A vegetáció megkezdésével a csapadékelátottság rendszeres volt, a léghőmérséklet pedig a szokásosnál lassabban emelkedett. A vetéstől számított 6. héttől aszályra jellemző időjárás uralkodott, ugyanis tartósan, rendkívül magas hőmérsékleti értékeket mértünk (a vetéstől számított 8. héttől kezdődően a nappali maximum hőmérséklet heti átlaga 31,1 °C volt), valamint a lehullott csapadék mennyisége jellemzően elenyésző volt (a 6–15. hétig érkező heti átlag csapadék összege mindössze 20,8 mm volt), azonban alkalmanként hirtelen, extrém nagy mennyiségű csapadék érkezett (*1. ábra*).

A nitrát-ionok mennyiségének meghatározása a talajban

A nitrapyrin hatékonyságát a kezelt, illetve kezeletlen talajban mérhető nitrát-ionok mennyiségének mérésén keresztül követtük nyomon. A talajmintákat a területen belül randomizálva, 0–30 cm-es mélységből vettük. A mintavételezést öt alkalommal végeztük 2–3 hetente, időjárási körülményektől függően. A nitrátmeghatározást szelektív nitrát elektródával (Nitrat 2000, Stelzner, Németország) végeztük a gyártó által javasolt lépések szerint.

1. ábra. A 2020-as és 2021-es év klimatikus tényezői (OMSZ)

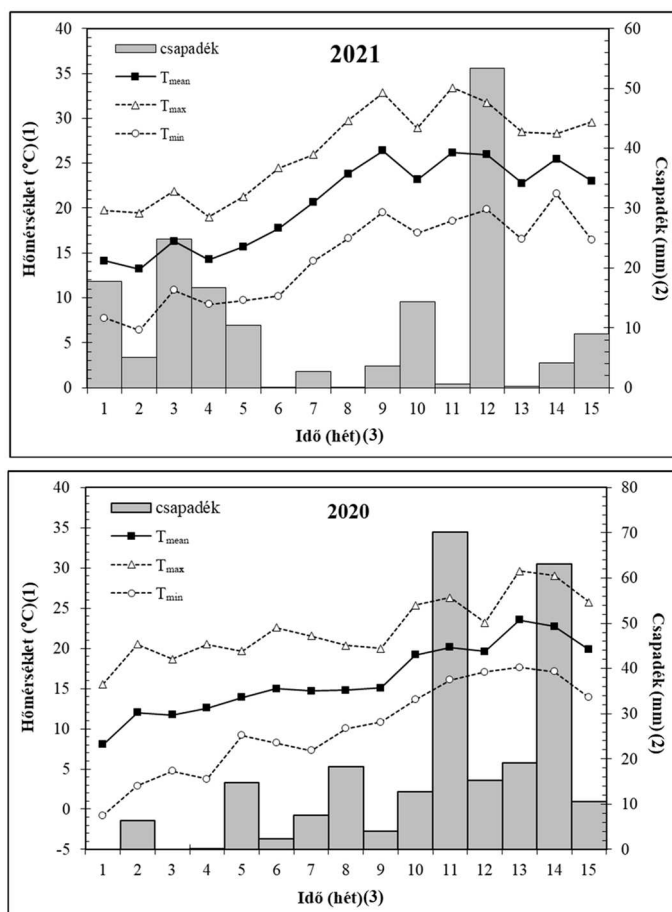


Figure 1. Climate factors for 2020 and 2021 (OMSZ). (1) Temperature (°C), (2) Precipitation (mm), (3) Time (weeks)

A relatív klorofill tartalom meghatározása

A kukoricalevelek relatív klorofill tartalmának mérését a kukorica 12 leveles fenológiai stádiumában végeztük (V12) a SPAD-502 Plusz készülékkel (Konica Minolta, Japan). A méréseket a csöközeli, kifejlett leveleken végeztük, levelenként pedig öt mérés átlagát vettük alapul (kezelésenként 10 db növény).

A termés mennyiségi és minőségi paramétereinek meghatározása

A kukoricatermés mennyiségi paramétereinek meghatározásakor az ezermagtömeget, a kukoricacső vastagságát (átmérő a kukoricacső hosszának felénél), hosszát, a csövön lévő sorok számát, illetve a soronkénti szemszámot mértük. A termés minőségi jellemzői tekintetében a fehérje, olaj és keményítő tartalmat határoztuk meg az Infratech 1241 Grain Analyzer készülék segítségével (FOSS, Hilleroed, Dánia).

Statisztikai analízis

A statisztikai elemzéseket az R programnyelv (v4.1.1; R Core Team 2021) és az „agricolae” R csomag (v1.3-5; De Mendiburu 2021) segítségével történt. A mintaátlagok összehasonlítására Student-féle *t*-próbát, valamint Duncan-féle többszörös tartományteszttel kiegészített egytényezős variancianalízist (ANOVA) végeztünk 5%-os szignifikanciaszinten ($p \leq 0,05$).

Eredmények

A talaj nitrát-tartalma

A talaj nitrát-tartalom mérések eredményeit a 2–3. ábrák szemlélteti. Az eredmények alapján elmondható, hogy mindkét évben jelentős differenciát mértünk a nitráppyrinnel kezelt és a kezeletlen talaj nitrát-tartalma között. 2020-ban a nitráppyrinnel kezelt talaj nitrát-tartalma egészen a kukorica vetésétől számított 11. hétig szignifikánsan alacsonyabb volt (átlagosan 61,3 mg/l-rel) a kezeletlen talajhoz képest (2. ábra), míg 2021-ben a kezelés hatására hol magasabb, hol pedig alacsonyabb nitrát-tartalmat mértünk (3. ábra). A nitráppyrines kezelés következtében a magasabb vagy alacsonyabb nitrát-tartalom mérésének hátterében minden bizonnyal az adott évjárat klimatikus viszonyai állhatnak. 2020-ban a vegetáció első fele jóval csapadékszegényebb volt, amely csökkentette a N-kimosódását, azonban a nitráppyrin kezelés így is hatékonynak bizonyult, hiszen hatására jelentősen alacsonyabb nitrát tartalmat mértünk, amely a nitrifikációs tevékenység lassításával, azaz az ammónium ionok késleltetett átalakulásával magyarázható. Ezzel ellentétben 2021-ben a kukorica kezdeti fejlődésekor kedvezőbb csapadékelátottság volt jellemző, amelynek hatására a N-kimosódás intenzívebb volt a kezeletlen talajban.

2. ábra. A talaj nitrát-tartalmának változása a nitrapyrines kezelés hatására (2020, talajhőmérséklet: SM150T talajhőmérő)

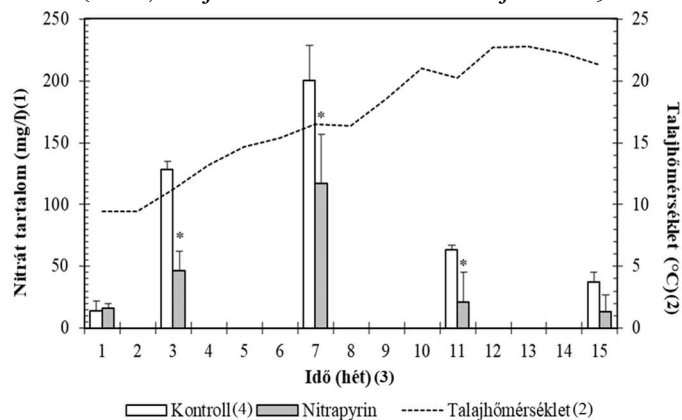


Figure 2. Changes in soil nitrate content after nitrapyrin treatment (2020, soil temperature: SM150T soil thermometer). (1) Nitrate content (mg l^{-1}), (2) Soil temperature ($^{\circ}\text{C}$), (3) Time (weeks), (4) Control

3. ábra. A talaj nitrát-tartalmának változása a nitrapyrines kezelés hatására (2021, talajhőmérséklet: SM150T talajhőmérő)

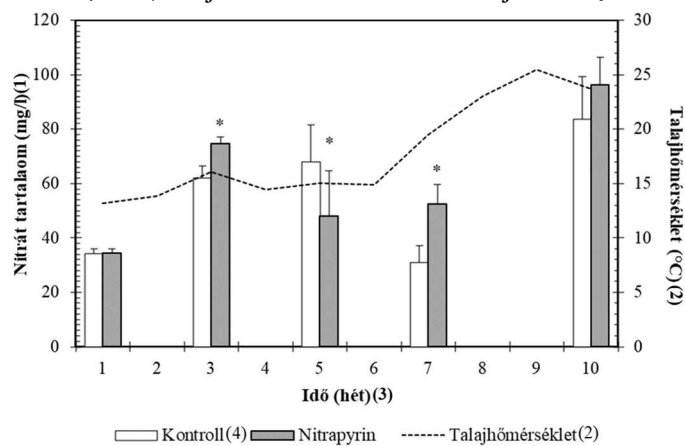


Figure 3. Changes in soil nitrate content after nitrapyrin treatment (2021, soil temperature: SM150T soil thermometer). (1) Nitrate content (mg l^{-1}), (2) Soil temperature ($^{\circ}\text{C}$), (3) Time (weeks), (4) Control

Ezt bizonyítja, hogy a nitrapyrin kezelés hatására többnyire a kezelt talajban jelentősen magasabb nitrát-tartalmat mértünk. Így, egy csapadékban szegényesebb időszakban a nitrapyrin nitrifikáló baktériumokra gyakorolt gátló hatása az alacsonyabb nitrát-tartalomban manifesztálódott, míg egy csapadékban bőségebb időszakban, ahol a kezeletlen talajból nagyobb mértékben mosódnak ki a nitrát-ionok, a nitrapyrin hatására magasabb nitrát-tartalom várható a talajban.

A relatív klorofilltartalom

A nitrapyrines kezelés célja a növények N-felvételének javítása, aminek kontrollja lehet a levelekben mért relatív klorofilltartalom, hiszen ez szoros összefüggést mutat a növények N-ellátottságával (*Singh és Nelson, 2019*). A kukorica relatív klorofilltartalmának mérési eredményeit a 4. ábra szemlélteti.

4. ábra. A relatív klorofilltartalom mérés eredményei (2020–2021)

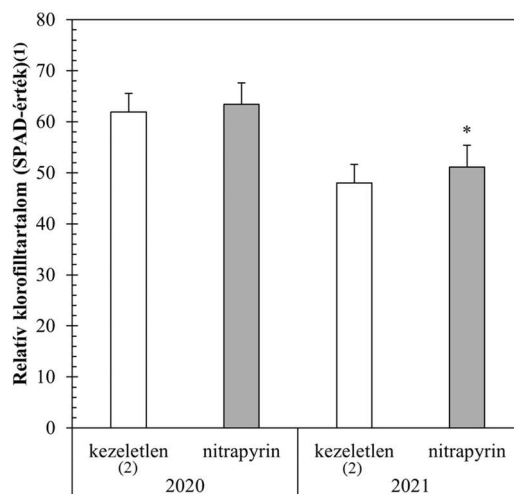


Figure 4. Results of relative chlorophyll content measurements (2020–2021). (1) Relative chlorophyll content (SPAD value), (2) Untreated

Míg 2020-ban a nitrapyrines kezelés hatására nem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a klorofilltartalomban a kezeletlen állományhoz képest, addig 2021-

ben a nitrapyrines kezelés hatékonysága statisztikailag is igazoltta vált. Ennek háttérében az adott évjárat klimatikus adottságai állhatnak, hiszen a két évjárat jelentősen eltért egymástól. A kukorica 12 leveles állapotakor, így a mérés időszakában a 2021-es évben kedvezőbb volt a csapadékellátottság, ami nem csak a nitrapyrin hatékonyságát növelte, de a talajban lévő tápanyagok – elsősorban nitrogén – felvételét is könnyítette a növények számára. *Ványiné Széles* (2010) szintén megerősítette a SPAD-értékek változékonyságát a csapadék-ellátottság függvényében, ugyanis szárazabb időszakokban csökkent, csapadékosabb időjárás esetében növekvő értékeket tapasztalt. Ezek alapján kijelenthető, hogy a nitrapyrin kezelés hatására 2021-ben jelentős mértékben javult a növények N-ellátottsága, amelynek oka a kedvezőbb csapadék-ellátottság a mérési időszakban.

A termés mennyiségi és minőségi paraméterei

A termés mennyiségi és minőségi jellemzőinek eredményét a 2. táblázat mutatja. A mennyiségi paraméterek esetében a nitrapyrin kezelés hatására mindkét évben tapasztaltunk különbséget az ezerszemtömeg, csőhossz, csőátmérő tekintetében, amelyek hasonlóak korábbi kísérletek eredményeivel (*Ren et al.* 2017).

A szem keményítő- és olajtartalom vonatkozásában kisebb mértékű emelkedést tapasztaltunk a nitrapyrin kezelés hatására, míg a fehérjetartalom 2020-ban jelentős mértékben, 2021-ben kisebb mértékben növekedett. Mivel a nitrapyrin alapvetően a N-tartalomra van leginkább hatással, így nem meglepő, hogy a kezelés leginkább a fehérjetartalmat befolyásolta. *Singh és Nelson* (2019) vizsgálatában hasonló megállításokra jutottak, miszerint a fehérjeépítéshez nélkülözhetetlen N a kedvezőbb N-ellátottságú növények magasabb SPAD-értékeket eredményeztek. *Széles et al.* (2019) az emelkedett N-trágyázás hatására magasabb fehérjetartalmat mért a kukoricatermésben. *Nozari et al.* (2020), illetve *Goos és Johnson* (1999) szintén megerősítették a nitrapyrin azon tulajdonságát, miszerint a termés fehérjetartalmát növeli. Mindazonáltal 2021-ben ez a fajta hatás sokkal kevésbé nyilvánult meg, amelynek oka valószínűleg az évjárat hatásában keresendő. 2021-ben ugyanis a vegetáció második felében rendkívül csapadékszegény időjárás volt jellemző (1. ábra), amely minden bizonnyal hátráltatta a kukorica hatékony N-felvételét a talajból.

2. táblázat. A kukoricatermés mennyiségi és minőségi paramétereinek változása a nitrapyrin kezelés hatására

Kezelés (1)	2020		2021	
	Kezeletlen (2)	nitrapyrin	Kezeletlen (2)	nitrapyrin
Ezerszemtömeg (g/1000 db) (3)	405±6	427±7*	292±6	337±5*
Csőhossz (mm) (4)	19,00±3,25	21,22±1,43*	17,31±1,15	23,46±1,13*
Csőátmérő (mm) (5)	46,96±4,44	49,12±1,63	44,20±1,93	53,20±1,23*
Sorok száma (db) (6)	16,2±2,0	17,7±2,9	15,6±0,9	15,6±0,9
Soronkénti szemszám (db) (7)	37,9±3,0	39,9±1,7	32,4±3,1	43,1±2,8*
Nedvesség (g/100 g) (8)	17,9	17,9	34,1	30,6
Keményítőtartalom (g/100 g) (9)	63,0	63,3	47,5	49,4
Olajtartalom (g/100 g) (10)	2,9	3,0	3,8	4,2
Fehérjetartalom (g/100 g) (11)	5,8	6,9	9,2	9,8

Megjegyzés: a táblázatban a minták átlaga ± szórása (n=20) került feltüntetésre; a csillagok (*) a kezeletlen állomány mintaátlagaitól való szignifikáns eltérést jelölik (Student-féle t-próba, $p \leq 0,05$).

Table 2. Changes in quantitative and qualitative parameters of maize yields under nitrapyrin treatment. (1) Treatment, (2) Untreated, (3) Thousand grain weight (g per 1000 grains) (4) Ear length (mm), (5) Ear diameter (mm), (6) Number of rows, (7) Number of grains per row, (8) Moisture (g per 100 g), (9) Starch content (g per 100 g), (10) Oil content (g per 100 g), (11) Starch content (g per 100 g). Note: the table shows the mean ± standard deviation of samples (n=20); asterisks (*) indicate significant deviation from the sample means of untreated stands (Student's t-test, $p \leq 0.05$).

Következtetések

Kísérletünk során a nitrapyrin kezelés hatékonyságát két éven keresztül vizsgáltuk jó szerkezetű, vályogtalajon termesztett kukoricában, figyelembe véve az adott évjárat klimatikus adottságait. Mivel a nitrapyrin alkalmazásának elsődleges célja a talajban lévő ammónium-ionok stabilizálása, illetve a képződő nitrát-ionok mennyiségének, kimosódásának csökkentése, a nitrapyrin kijuttatása és beépítése a technológiába ott célszerű, ahol nagy nitrogén-igényű növények termesztése folyik, illetve ahol a nitrogén-eredetű veszteségek rizikója magas. A nitrapyrin homoktalajban történő alkalmazásáról

már születtek korábbi tanulmányok, amelyek a nitrapyrin pozitív hatásairól számoltak be. A laza szerkezetű, nagy áteresztőképességű talajokban, ahol a nitrát-kimosódás intenzívebb, a nitrogén megtartása és stabilizálása a talajban alapvető célkitűzés.

Kísérletünkben a nitrapyrin vályogtalajban történő alkalmazásának hatékonyságát vizsgáltuk, amely során nyomon követtük a kezelt és kezeletlen talajban lévő nitrát-ionok mennyiségének változásait, a kukoricalevelek relatív klorofill tartalmát, valamint a termés egyes mennyiségi és minőségi paramétereit. Az eredményeink alapján arra következtethetünk, hogy a nitrapyrin vályogtalajban is hozzájárul a kukorica hatékonyabb N-felvételéhez és a N-veszteség csökkentéséhez, azonban a nitrapyrin hatékonyságát az évjárat nagymértékben befolyásolja. Míg 2020-ban a vegetáció második felében volt bőségesebb a csapadékellátottság, addig 2021-ben ellenkező tendencia volt megfigyelhető. Összeségében eredményeink alapján sikerült igazolni a nitrapyrin nitrogén-hasznosítást fokozó hatását, azonban további vizsgálatok szükségesek ahhoz, hogy a kezelés hatékonyságát segítő és akadályozó tényezőket pontosabban megismerjük.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció alapjául szolgáló kutatást az Európai Unió támogatásával az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Buzás I.*: 1983. A növény-táplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Cameron, K. C.-Di, H.-Moir, J. L.*: 2013. Nitrogen losses from the soil/plant system: A review. *Ann. Appl. Biol.* 162: 145–173.
- Congreves, K. A.-Dutta, B.-Grant, B. B.-Smith, W. N.-Desjardins, R. L.-Wagner-Riddle, C.*: 2016. How does climate variability influence nitrogen loss in temperate agroecosystems under contrasting management systems? *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 227: 31–41.

- De Mendiburu, F.*: 2021. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*; R Package Version 1.3-5. Available online: <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae> (accessed on 10 August 2021).
- Dimpka, C. O.-Fugice, J.-Singh, U.-Lewis, T. D.*: 2020. Development of fertilizers for enhances nitrogen use efficiency - Trends and perspectives. *Science of the Total Environment* 731: 139113.
- Futó Z.-Bence G.-Holes A.-Surányi Sz.-Papp Z.*: 2016. Korszerű növénytáplálás a növénytermesztésben. [In: Árpási et al. (eds.) *A magyar gazdaság és társadalom a 21. század globalizálódó világában II.*] Szent István Egyetem Gazdasági, Agrár- és Egészségtudományi Kar. Békéscsaba. 148–157.
- Goos, R. J.-Johnson, B. E.*: 1999. Performance of Two Nitrification Inhibitors Over a Winter with Exceptionally Heavy Snowfall. *Agronomy Journal*. 91. 6: 1046.
- Hess, L. J. T.-Hinckley, E. S.-Robertson, G. P.-Matson, P. A.*: 2020. Rainfall intensification increases nitrate leaching from tilled but no-till cropping systems in the U.S. Midwest. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 290: 106747.
- Illés, A.-Bojtor, C.-Széles, A.-Mousavi, S. M. N.-Tóth, B.-Nagy, J.*: 2021. Analyzing the Effect of Intensive and Low-Input Agrotechnical Support for the Physiological, Phenometric, and Yield Parameters of Different Maize Hybrids Using Multivariate Statistical Methods. *International Journal of Agronomy*. 1–11. Paper: ID 6682573.
- Morell, F. J.-Lampurlanés, J.-Álvaro-Fuentes, J.-Cantero-Martínez, C.*: 2011. Yield and Water Use Efficiency of Barley in a Semiarid Mediterranean Agroecosystem: Long-Term Effects of Tillage and N Fertilization. *Soil Till. Res.* 117: 76–84.
- Nozari, R.-Hadidi Masouleh, E.-Borzouei, A.-Sayfzadeh, S.-Eskandari, A.*: 2020. Investigating the effect of different tillage methods and nitrapyrin on increasing nitrogen utilization efficiency on physiological and biochemical traits in different wheat cultivars. *Archives of Pharmacy Practise*. 11: 134–150.
- Papp, Z.*: 2014. The role and impact of N-Lock (N-stabilizer) to the utilization of N in the main arable crops. *Acta Agraria Debreceniensis*. 62: 51–55.
- R Core Team. R*: 2021. *A Language and Environment for Statistical Computing*; R Foundation for Statistical Computing: Vienna, Austria, 2021. Available online: <https://www.R-project.org/> (accessed on 10 August 2021).
- Rác, D.-Radócz, L.*: 2020. Beneficial changes in corn's health condition and biomass production due to nitrapyrin treatment. In. XXIII. Tavasz Szél Tanulmánykötet. Association of Hungarian PHD and DLA Students. Budapest.

- Ren, B. Z.-Zhang, J. W.-Dong, S. T.-Liu, P.-Zhao, B.-Li, H.:* 2017. Nitrapyrin improves grain yield and nitrogen use efficiency of summer maize waterlogged in the field. *Agronomy Journal*. 109: 185-192.
- Schlüter, U.-Mascher, M.-Colmsee, C.-Scholz, U.-Bräutigam, A.-Fahnenstich, H.-Sonnewald, U.:* 2012. Maize Source Leaf Adaptation to Nitrogen Deficiency Affects Not Only Nitrogen and Carbon Metabolism But Also Control of Phosphate Homeostasis. *Plant Physiol*. 160: 1384-1406.
- Singh, G.-Nelson, K. A.:* 2019. Pronitridine and nitrapyrin with anhydrous ammonia for corn. *Journal of Agriculture Sciences*. 11: 13-24.
- Syswerda, S. P.-Basso, B.-Hamilton, S. K.-Tausig, J. B.-Robertson, G. P.:* 2012. Long-term nitrate loss along an agricultural gradient in the Upper Midwest USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 149: 10-19.
- Széles, A.-Rátónyi, 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.
- Ványiné Széles, A.:* 2010. Evaluation of the level of N supply in maize hybrids at different nutritional levels. *Acta Agronomica Hungarica*. 58: 89-94.
- Weier, K. L.:* 1994. Nitrogen use and losses in agriculture in subtropical Australia. *Fert. Res.* 39: 245-257.
- Woodward, E. E.-Edwards, T. M.-Givens, C. E.-Kolpin, D. W.-Hladik, M. L.:* 2021. Widespread Use of the Nitrification Inhibitor Nitrapyrin: Assessing Benefits and Costs to Agriculture, Ecosystems, and Environmental Health. *Environmental Science & Technology*. 55. 3: 1345-1353.
- Xu, H.-Twine, T. E.-Girvetz, E.:* 2016. Climate Change and Maize Yield in Iowa. *PLoS ONE* 2016. 11: e0156083.
- Zhang, B.-Li, Q.-Cao, J.-Zhang, C.-Song, Z.-Zhang, F.-Chen, X.:* 2017. Reducing nitrogen leaching in a subtropical vegetable system. *Agric. Ecosyst. Environ.* 241: 133-141.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Rác Dalma - Horváth Éva - Zagyai Péter
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*racz.dalma@agr.unideb.hu

A termesztéstechnológiai tényezők hatása a kukorica (*Zea mays* L.) terméseredményeire polifaktorális tartamkísérletben

TAMÁS ANDRÁS - RADÓCZ LÁSZLÓ - HORVÁTH ÉVA -

ZAGYI PÉTER - RAGÁN PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A látóképi komplex talajművelési (vetésváltás × talajművelés × trágyázás × öntözés × tőszám × genotípus) tartamkísérletet Győrffy Béla akadémikus javaslatára Prof. dr. Nagy János alapította 1989-ben, amely Európában is egyedülálló. A célkitűzésünk az volt, hogy megvizsgáljuk a különböző faktorok hatását a kukorica terméseredményeire. A kísérletben három eltérő genotípusú hibridet vizsgáltunk. A vizsgálatok során megállapítottuk, hogy az öntözés, a talajművelési módok, az eltérő tőszámok, a nitrogén dózisok szoros összefüggésben vannak a különböző genotípusú hibridek terméseredményeivel. Eredményeink alátámasztják, hogy nagy hangsúlyt kell fektetni az eltérő genotípusú kukoricahibridek műtrágya dózisának megválasztására. A hibridek környezeti stressztényezőkkel szembeni toleranciája növelhető eltérő N és állandó arányú PK kezelés kombinációval, továbbá aszályos évjáratban öntözés hatására. A maximális és gazdaságosan elérhető terméshozamok kedvező termelési években, alkalmazkodva a talaj tápanyagszolgáltató képességéhez, szoros összefüggést mutatnak a tőszámmal.

Kulcsszavak: kukorica, őszi szántás, sávos művelés, lazítás, öntözés, tőszám

The effect of production technological factors on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a multifactorial long-term experiment

A. TAMÁS - L. RADÓCZ - É. HORVÁTH - P. ZAGYI - P. RAGÁN

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

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

Summary

The complex long-term tillage experiment (crop rotation × tillage × fertilisation × irrigation × plant density × genotype) at the Látókép Experiment Site was founded by Prof. Dr. János Nagy in 1989 on the suggestion of the academic Béla Győrffy, and is unique in Europe. Our objective was to study the effect of different factors on maize yields. In the experiment, three hybrids with different genotypes were examined. We found that irrigation, tillage, different plant density values and nitrogen doses were closely related to yields of the different genotypes. The obtained results support the need for a strong emphasis on the choice of fertiliser dosage for maize hybrids of different genotypes. The tolerance of hybrids to environmental stress factors can be increased by a combination of different N and constant rate PK treatments, and by irrigation in drought years. Maximum and economically achievable yields in favourable production years, adapted to the nutrient supply capacity of the soil, are closely related to plant density.

Keywords: maize, autumn ploughing, strip tillage, loosening, irrigation, plant density

**Влияние факторов технологии выращивания на результаты
урожая кукурузы (*Zea mays* L.) в полифакторном
продолжительном опыте**

А. ТАМАШ – А. РАДОЦ – Е. ХОРВАТ – П. ЗАДЬИ – П. РАГАН

Дебреценский Университет, Факультет Сельского Хозяйства, Науки о Пище и
Экологического Менеджмента (МÉК)

Институт Землепользования, Технический и Прецизионной Технологии, Дебрецен

Резюме

Комплексный продолжительный опыт обработки почвы (севосмен x обработка почвы x внесение удобрений x орошение x число растений x генотип) в местечке Латокеп по предложению академика Дьёрффи Бела установил проф. др. Надь Янош в 1989 году, это единственный и в Европе также. Целью было исследовать влияния различных факторов на результаты урожая кукурузы. В опыте исследовали гибриды трех различных генотипов. В ходе исследования установили, что орошение, методы обработки почвы, различное число стеблей, дозы азота находятся в тесной взаимосвязи с результатами урожая гибридов различных генотипов. Наши результаты подтверждают, что надо придать большое значение выбору дозы искусственного удобрения для различных генотипов кукурузных гибридов. Устойчивость гибридов против факторов стресса окружения может быть увеличена комбинациями различных доз N и постоянных соотношений РК, а также под влиянием орошения в засушливые годы выращивания. Максимальные и рентабельно достигаемые урожай в благоприятные производственные годы, приспосабливаясь к способности почвы обслуживать питательными веществами, показывают тесную взаимозависимость с числом стеблей.

Ключевые слова: кукуруза, осенняя вспашка, полосная обработка, рыхление, орошение, число стеблей

Bevezetés

A kukorica a világ egyik legfontosabb növénye, mely elengedhetetlen az élelmezés- és energiabiztonság biztosításában (*Chen et al. 2014, Hou et al. 2020*). A túlnépesedés és a klímaváltozás miatt az emberiség élelmezése jelentős kihívások elé került. Ebben a kukoricatermesztésnek kiemelkedő szerepe van, mind humán fogyasztás, mind takarmány előállítás szempontjából (*Nagy 2021*). A kukorica vetésterületének körülbelül 13%-án betakarított termést élelmiszerként hasznosítják és bioüzemanyag előállítására a vetésterületnek körülbelül 15%-át használják fel (*Oláh és Papp 2018*). A kukorica melegigényes, rövidnappalos gabonanövény, mely leginkább a mély termőrétegű, középkötött, humuszban gazdag, jó vízgazdálkodású, csernozjom, réti csernozjom, barna erdőtalajokon termesztendő sikeresen. A megfelelő vízgazdálkodású talajokon az évjárat miatt jelentkező kockázat jelentősen csökkenthető (*Debreczeni 1969, Várallyay et al. 1980, Győrffy 1988*). Számos kutató bizonyította, hogy a talajelőkészítés, a vetésidő, a talajok tulajdonsága és vízgazdálkodása befolyásolja a termő növény esetleges aszálykárosodását (*Várallyay 1984, 1988; Marton és Szundy 1990, Németh et al. 1990, Varga 1990*). *Széles et al. (2019)* vizsgálták a N dózisek hatását a különböző genotípusú hibridekre eltérő évjáratokban, azonos körülmények között. A műtrágyázásból adódó többlet termésátlag ~4 t/ha volt a vizsgált hibridekre átlagolva. A megfelelő hibrid megválasztása kulcsfontosságú a termelékenység szempontjából.

Anyag és módszer

A komplex talajművelési (vetésváltás × talajművelés × trágyázás × öntözés × tőszám × genotípus) tartamkísérletet Győrffy Béla akadémikus javaslatára Prof. dr. Nagy János alapította 1989-ben, amely az országban és Európában is egyedülálló. A kísérlet talajművelési blokkja 8064 m². Egy-egy hibriddel beállított főparcella mérete 2688 m², a műtrágyakezelések parcellái négy ismétlésben összesen 336 m². A kísérleti telepen a környezeti paraméterek folyamatos mérését automata mérő- és adatgyűjtő állomással végezzük. A tartamkísérlet kétszeresen osztott parcellás (split-split-plot) elrendezésű, a főparcellákon a talajművelési és az öntözési változatok szerepelnek ismétlés

nélkül. Az elsőrendű alparcellákon a kukorica hibridek 60–80 ezres tőszámmal, a másodrendű alparcellákon a műtrágyakezelés négy ismétlésben randomizáltan foglalnak helyet. Egy talajművelési blokk 9855 m²-es területet foglal el, amely egy öntözött és egy nem öntözött blokkra van felosztva (1. ábra).

A kísérletben szereplő kukorica hibridek 2021-ben: MERIDA 380 (1); CORASANO 490-510 (2); FORNAD 420 (3).

1. ábra. Talajművelési komplex tartamkísérlet elrendezése (2021)

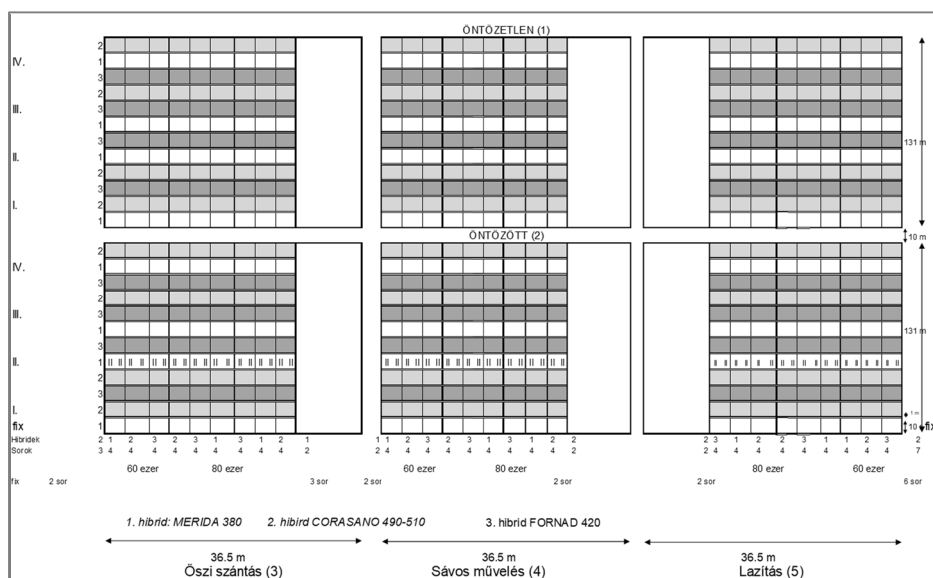


Figure 1. Arrangement of complex tillage experiment in 2021. (1) Non-irrigated, (2) Irrigated, (3) Autumn ploughing, (4) Strip tillage, (5) Loosening

A polifaktoriális talajművelési tartamkísérlet kezelései

– Talajművelési változat

T1=őszi szántás (28 cm),

T2=sávós művelés (28 cm),

T3=lazítás (55 cm).

- Öntözési változat
 - Ö1=öntözött,
 - Ö2=nem öntözött.
- Mútrágyakezelés
 - N 0 kg/ha P₂O₅ 0 kg/ha K₂O 0 kg/ha (1),
 - N 80 kg/ha P₂O₅ 60 kg/ha K₂O 90 kg/ha (2),
 - N 160 kg/ha P₂O₅ 60 kg/ha K₂O 90 kg/ha (3).

Fontos szempont a megfelelően megválasztott tápanyagutánpótlás, melyre nagy hangsúlyt kell fektetni. A különböző genotípusú hibridek tápanyaghasznosítását jelentősen befolyásolják az éghajlati tényezők (Széles et al. 2019).

A talajművelési változatok kialakításában az volt a cél, hogy ne csak a művelési mélységben, hanem a talajelőkészítés minőségében is eltérések legyenek.

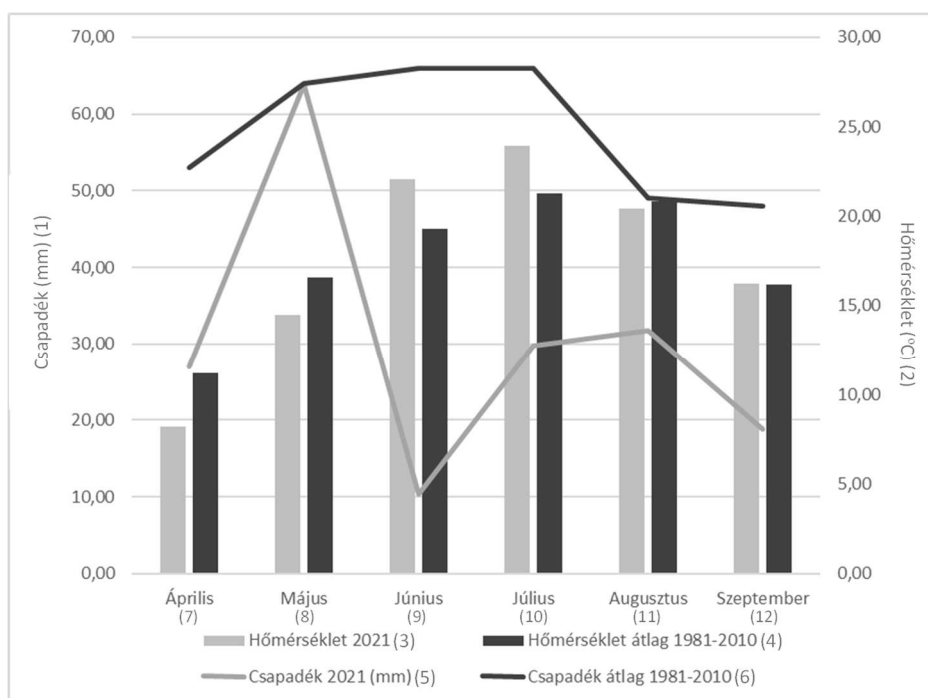
A vizsgált időszak időjárás adatai alapján jól látszik, hogy a csapadék mennyisége jelentősen elmaradt a 10 éves átlagtól. Alapvetően a hőmérsékleti adatokban nem volt jelentős eltérés az átlagtól, viszont június-július hónapokban összesen 100 mm-t is elérte a csapadék hiánya a 10 éves átlaghoz képest, mely rendkívül jól látszik a 2. ábrán is. A tartamkísérlet agrotechnikai adatait a 1. táblázat szemlélteti.

Alaptrágyaként a kezelt parcellákon ősszel 30 kg/ha N került kijuttatásra és a P és K 100%-a. A további N hatóanyag tavasszal folyékony fejtrágyázás keretében került kijuttatásra június hónapban.

A statisztikai értékelést R 4.1.1. statisztikai program környezet segítségével végeztük (R Core Team 2021). A grafikus felületet RStudio programmal (R Studio Team 2016), gplots (Warnes et al. 2015), car (Fox és Weisberg 2011) és agricolae (de Mendiburu 2021) csomagokat alkalmaztuk. A grafikonokat Microsoft Excel program segítségével készítettük. Az elsőfajú hibát 5%-ban határoztuk meg, tehát $\alpha=0,05$.

A faktorok hatásainak vizsgálatához ismételt mérési modellt készítettünk Huzsvai és Balogh (2015) segédlete alapján (1-2-3. sz. melléklet).

2. ábra. A tenyészidőszak csapadék és hőmérsékleti adatai (Debrecen-Látókép)



Forrás: Gombos és Nagy (2022)

Figure 2. Precipitation and temperature data of the growing season (Debrecen-Látókép), (1) Precipitation (mm), (2) Temperature (°C), (3) Temperature 2021, (4) Mean temperature 1981–2010, (5) Precipitation 2021 (mm), (6) Mean precipitation 1981–2010, (7) April, (8) May, (9) June, (10) July, (11) August, (12) September. Source: Gombos and Nagy (2022)

Eredmények

A komplex talajművelési tartamkísérletben vizsgáltuk a különböző faktorok hatását a termésátlagokra. Az öntözés hatását vizsgálva az eltérő tőszámoknál, hibridenként és tápanyagszintenként, megállapítható, hogy az adott évben az öntözés jelentősen befolyásolta a hozamokat. Az öntözéshatást post hoc teszt segítségével elemeztük, eredményként két homogén csoportot kaptunk, melyek között szignifikáns ($P < 0,01$) különbség volt. Öntözött körülmények között mértünk magasabb átlagtermést, mely átlagérték 7,5 t/ha. Öntözetlen állományban átlagban 0,91 t/ha-ral kisebb termést mértünk. Megállapítható,

hogy az adott évjáratban öntözött állományban jelentősen magasabb volt a termésátlag a hibridek átlagában (3. ábra).

1. táblázat. A tartamkísérlet agrotechnikai adatai (2021)

Őszi szántás (1)	Sávos művelés (2)	Lazítás (3)
Őszi szántás (4) (2020. 10. 26.)		Talajlazítás (6) (2020. 10. 26.)
Elmunkálás (7) (2021. 04.)	Sávos művelés és vetés (5) (2021. 04. 22.)	Elmunkálás (7) (2021. 04.) Carrier+Güttler henger
Magágykészítés (8) (2021. 04. 21.) Kombinátor		Magágykészítés (8) (2021. 04. 21.) Kombinátor
Vetés (9) (2021. 04. 22.) Force 1,5 g 14 kg/ha		
Vegyszeres gyomirtás (10) (2021. 05. 15.) Adengo + Dicopur Top		
Sorközművelés (11) (2021. 06. 16.)		
Öntözés 25 mm (12) (2021. 06., 2021. 07.)		
Betakarítás (13) (2021. 09. 28.)		

Table 1. Agrotechnical data of the long-term experiment (2021). (1) Autumn ploughing, (2) Strip tillage, (3) Loosening, (4) Autumn ploughing on 26/10/2020, (5) Strip tillage and sowing on 22/04/2021, (6) Soil loosening, (7) Finishing, (8) Seedbed preparation with a combinator, (9) Sowing, (10) Chemical weed control, (11) Interrow cultivation, (12) Irrigation, (13) Harvesting

3. ábra. Az öntözés hatása a termésre a hibridek átlagában

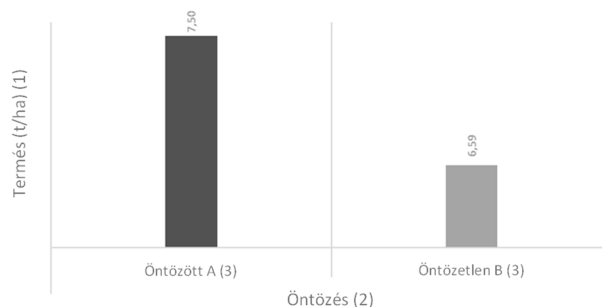


Figure 3. Effect of irrigation on yield in the average of hybrids. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Irrigation, (3) Irrigated A, (4) Non-irrigated B

A legmagasabb átlagtermést őszi szántott és lazított művelési módban, öntözött állományban mértük. Ugyanebben az esetben, az öntözetlen állomány átlagtermései szignifikánsan alacsonyabbak voltak. A legalacsonyabb hozamokat a sávos művelés esetén mértük, mind öntözött, mind öntözetlen állományokban. Az eltérő talajművelési módok termésre gyakorolt hatása esetén statisztikailag igazolható volt a különbség. A post hoc teszt alapján két homogén csoportot kaptunk, melyek között szignifikáns ($P < 0,001$) volt a különbség. Őszi szántott talajművelésben mértük a legmagasabb termésátlagokat, 7,64 t/ha. A lazított művelésben szinte azonos termésátlagokat kaptunk. A sávos művelés viszont szignifikánsan alacsonyabb termésátlagokat eredményezett a hibridek átlagában, 5,92 t/ha (4. ábra). Megállapítható tehát, hogy az eltérő talajművelési módok jelentősen befolyásolják a kukorica termésátlagát az adott évjáratban.

4. ábra. Az talajművelési módok hatása a termésre a hibridek átlagában

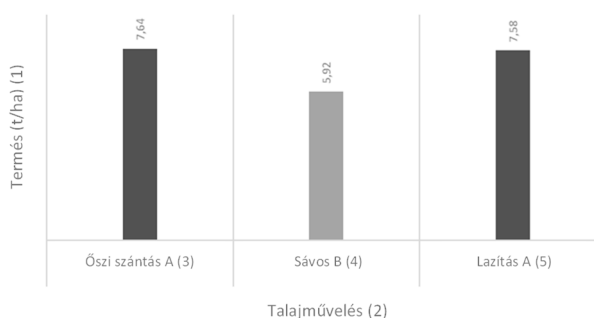


Figure 4. Effect of tillage on yield in the average of hybrids. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Tillage, (3) Autumn ploughing A, (4) Strip tillage B, (5) Loosening A

Öntözetlen monokultúra esetén 60 000 és 80 000 tő/ha tőszám mellett jelentős különbségek mutatkoztak a hibridek között eltérő tápanyagszintek mellett. Megállapítható, hogy az adott évjáratban a hozamok 60 000 tő/ha tőszám mellett szignifikánsan magasabbak voltak. A MERIDA 380 korai érésű hibrid esetén jelentős volt az eltérés a két tőszám között. 60 000 tő/ha mellett a MERIDA 380 érte el a legmagasabb termésátlagot, 7,44 t/ha. A post hoc teszt alapján a két eltérő tőszám két homogén csoportot eredményezett. A két

csoport között szignifikáns az eltérés ($P < 0,01$). A termésátlagok alapján a 60 000 tő/ha összességében magasabb hozamot mutatott, 7,28 t/ha. A 80 000 tő/ha tőszám esetén 0,47 t/ha-ral alacsonyabb hozamot kaptunk (5. ábra). Megállapítható, hogy az eltérő tőszámok jelentősen befolyásolhatják a termésátlagot.

5. ábra. Az eltérő tőszámok hatása a termésre a hibridek átlagában

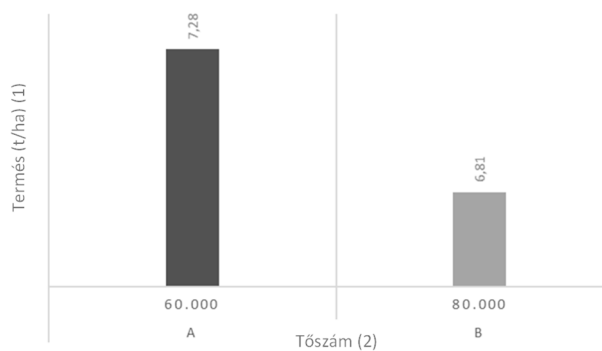


Figure 5. Effect of different plant numbers on yield on average of hybrids, (1) Yield (t ha⁻¹), (2) Plant density

Az eltérő műtrágya dózisok termésátlagokra gyakorolt hatása statisztikailag igazolható. A post hoc teszt alapján három homogén csoportot különböztethetünk meg, melyek között szignifikáns az eltérés ($P < 0,001$). A legmagasabb hozamokat 160 kg N kezelés esetén értük el, mely átlagértéke 9,17 t/ha. Az alacsonyabb N dózis közel 2 t/ha-ral alacsonyabb termésátlagot eredményezett, mint a 160 kg N dózis (6. ábra). Megállapítható, hogy a kontroll kezelésekhez képest jelentős többlet hozamot kaptunk a hibridek átlagában a műtrágyázás hatására.

Az adott évjáratban az eltérő genotípusú hibridek között is igazolható különbségek voltak, melyek hatását a 7. ábra mutatja. A három hibrid közül a CORASANO 490-510 késői érésű hibrid ért el közel 8 t/ha hozamot őszi szántott és lazított művelés esetén. Ugyanebben a két talajművelésben a FORNAD 420 közel azonos hozamot mutatott. A MERIDA 380 korai érésű fajta valamivel alacsonyabb termésátlagot ért el az adott évjáratban.

6. ábra. A tápanyagszintek hatása a termésre a hibridek átlagában

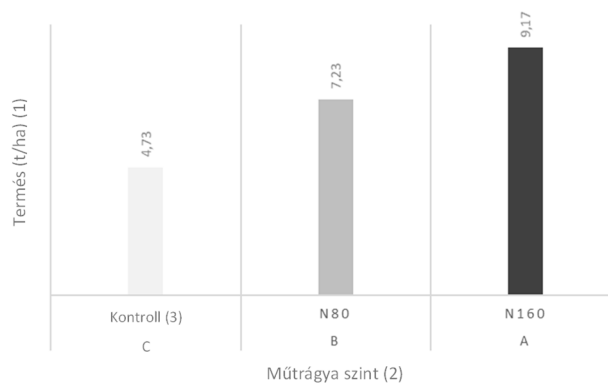


Figure 6. Effect of nutrient levels on yield in the average of hybrids. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Fertiliser level, (3) Control

7. ábra. A kukorica hibridek átlagtermés eredményei

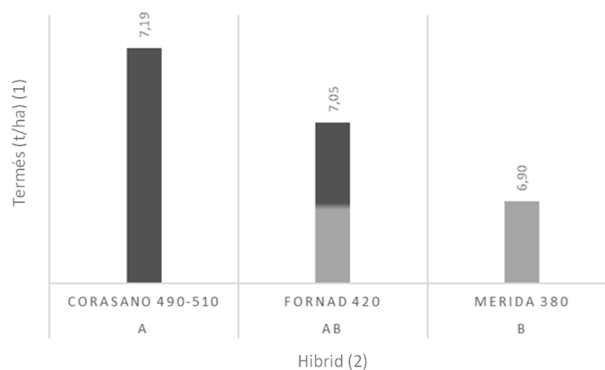


Figure 7. Average yield of maize hybrids. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Hybrids

Össességében a sávos művelésben mért termésátlagok elmaradtak a másik két talajművelésben mért hozamoktól, viszont mindhárom hibrid közel azonos termésátlagot ért el. A post hoc teszt alapján két homogén csoportot különböztethetünk meg, melyek szignifikánsan eltérnek egymástól ($P < 0,01$). A magasabb FAO számú genotípus bizonyult, a termésátlag szempontjából, a legeredményesebbnek. A CORASANO 490-510

hibrid átlagos hozama 7,19 t/ha volt. A FORNAD 420 hibrid hozama közel azonos volt a kései érésű hibridével, 7,05 t/ha. A korai éréscsoportba tartozó MERIDA 380 terméshozama viszont statisztikailag igazolhatóan alacsonyabb volt adott évben, nem érte el a 7 t/ha-t.

A talajművelési módok, az öntözés és az eltérő genotípusú hibridek együttes kölcsönhatását vizsgálva megállapítható, hogy statisztikailag igazolható különbségek vannak a termésátlagok között. Az öntözés hatása jól látszik a hozam értékeiben, főként őszi szántott és lazított művelési mód esetén. Sávos művelésben az öntözés hatása nem számottevő. Mindhárom hibrid meghálálta az öntözést az aszályos évjárat mellett. A legmagasabb termésátlagokat őszi szántott és lazított talajművelésben, öntözött körülmények között mértük a későbbi érésű fajtáknál.

Következtetések

Eredményeink alátámasztják, hogy nagy hangsúlyt kell fektetni az eltérő genotípusú kukoricahibridek műtrágya dózisének megválasztására és tápanyag-hasznosítására, melyet jelentősen befolyásolnak az éghajlati tényezők. Megállapítottuk, hogy a hibridek környezeti stressztényezőkkel szembeni toleranciája növelhető eltérő N és állandó arányú PK kezelés kombinációval, továbbá aszályos évjáratban öntözés hatására. Az eredmények alapján a talajművelési mód megválasztására is fokozott figyelmet kell fordítani a terület adottságait figyelembe véve. A környezetkímélő talajművelési technológiák előtérbe helyezése fontos szempont a fenntarthatóság érdekében, ezért javasoljuk a lazított talajművelés előnyben részesítését a forgatással szemben. A maximális és gazdaságosan elérhető terméshozamok kedvező termelési években, alkalmazkodva a talaj tápanyagszolgáltató képességéhez, szoros összefüggést mutatnak a tőszámmal. A vizsgált évjáratban az alacsonyabb tőszám bizonyult gazdaságosabbnak az átlagtermések szempontjából. Javasoljuk eredményeink alapján a 60 000 tő/ha sűrítését ~10%-kal, mely további terméstöbbletet biztosíthat. Bebizonyosodott, hogy aszályos évjáratban a magasabb FAO számú CORASANO 490-510 és a FORNAD 420 hibridek bizonyultak gazdaságosabbnak a korai érésű MERIDA 380 hibriddel szemben. Összességében az eredmények hozzájárulhatnak a kukoricahibridek NPK műtrágya hasznosításának javításához és a hasznosítási

célra legalkalmasabb hibrid kiválasztásához, figyelembe véve a termőterület adottságait, így egy környezetbarát és költséghatékony termelést eredményezhet.

Köszönetnyilvánítás

A publikáció alapjául szolgáló kutatást az Európai Unió támogatásával az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú projekt támogatta. A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

- Chen, X.-Cui, Z.-Fan, M.-Vitousek, P.-Zhao, M.-Ma, W.-Wang, Z.-Zhang, W.-Yan, X.-Yang, J.-Deng, X.-Gao, Q.-Zhang, Q.-Guo, S.-Ren, J.-Li, S.-Ye, Y.-Wang, Z.-Huang, J.-Tang, Q.-Sun, Y.-Peng, X.-Zhang, J.-He, M.-Zhu, Y.-Xue, J.-Wang, G.-Wu, L.-An, N.-Wu, L.-Ma, L.-Zhang, W.-Zhang, F.: 2014. Producing more grain with lower environmental costs. *Nature*. 514: 486-489.
- de Mendinburu, F.: 2021. *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-5. <http://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
- Debreczeni B.-né: 1969. A műtrágyázás, az öntözés és a talajtípus néhány összefüggése a kukoricatermesztésben. Akadémiai Kiadó. Budapest. 423-432.
- Fox, J.-Weisberg, S.: 2011. *An {R} Companion to Applied Regression*, Second Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL: <http://socserv.socsci.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion>
- Gombos B.-Nagy J.: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyésztési időszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. *Növénytermelés*. 71. 1: 7-20.
- Győrffy B.: 1988. Az 1983. évi aszály hatása és tanulságai. *Magyar Tudomány*. 4: 249-254.
- Hou, P.-Liu, Y.-Liu, W.-Liu, G.-Xie, R.-Wang, K.-Ming, B.-Wang, Y.-Zhao, R.-Zhang, W.-Wang, Y.-Bian, S.-Ren, H.-Zhao, X.-Liu, P.-Chang, J.-Zhang, G.-Liu, J.-Yuan, L.-Zhao, H.-Shi, L.-Zhang, L.-Yu, L.-Gao, J. L.-Yu, X.-Shen, L.-Yang, S.-Zhang, Z.-Xue, J.-Ma, X.-Wang, X.-Lu, T.-Dong, B.-Li, G.-Ma, B.-Li, J.-Deng, X.-Liu, Y.-Yang, Q.-Fu, H.-Liu, X.-Chen, X.-Huang, C.-Li, S.: 2020. How to increase maize production without extra nitrogen input. *Resour. Conserv. Recycl.* 160: Article 104913.
- Huzsvai L.-Balogh P.: 2015. *Lineáris modellek az R-ben*. Seneca Books. Debrecen. 109-124.

- Marton L. Cs.-Szundy T.:* 1990. A kukoricahibridek szárazságtűrése. *Martonvásár. 90/4. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei.* 8-10.
- Nagy J.:* 2021. *Kukorica. A nemzet aranya - Élelmiszer- takarmány- bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.* 516.
- Németh J.-Széll E.-Csaláné K. I.:* 1990. Hogyan mérsékelhetjük az aszálykárt a kukoricaföldeken? *Kukorica-Iparszerűen.* 17. 12: 2.
- Oláh J.-Papp J.:* 2018. A kukoricatermelés kilátásai. *Magyar Mezőgazdaság.* 2018. október 29.
- R Core Team:* 2021. A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria. URL <http://www.R-project.org/>
- R Studio Team:* 2016. RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc. Boston. MA. URL: <http://www.rstudio.com/>
- 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.
- Várallyay Gy.:* 1984. Magyarországi homoktalajok vízgazdálkodási problémái. *Agrokémia és Talajtan.* 33: 159-169.
- Várallyay Gy.:* 1988. Talaj, mint a biomassa-termelés aszályérzékenységének tényezője. *Vízügyi Közlemények.* 70. 3: 46-68.
- Várallyay Gy.-Szűcs L.-Rajkai K.-Zilahy P.-Murányi A.:* 1980. Magyarországi talajok vízgazdálkodási tulajdonságainak kategóriarendszere és 1:100 00 méretarányú térképe. *Agrokémia és Talajtan.* 29: 77-112.
- Varga K.:* 1990. Aszálytűrés és kukorica virágzása. *Martonvásár. 90/4. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének és Kísérleti Gazdaságának Közleményei.* 7-8.
- Warnes, G. R.-Bolker, B.-Bonebakker, L.-Gentleman, R.-Liaw, W. H. A.-Lumley, T.-Maechler, M.-Magnusson, A.-Moeller, S.-Schwartz, M.-Venables, B.:* 2015. Various R Programming Tools for Plotting Data. R package version 2.17.0. <http://CRAN.R-project.org/package=gplots>.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Dr. Tamás András - Radócz László - Horváth Éva - Zagyi Péter - Dr. Ragán Péter
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
tamas.andras@agr.unideb.hu

Az évenként végzett talajlazításra alapozott művelési rendszer értékelése a talaj penetrációs ellenállása alapján

¹TUBA GÉZA - ²GULYBÁN OLIVÉR - ¹KOVÁCS GYÖRGYI - ³NAGY PÁL MÁTÉ -

^{1,3}SINKA LÚCIA - ¹ZSEMBELI JÓZSEF

¹MATE Karcagi Kutatóintézet, Karcag

²h.a.t. Agro Kft., Szeghalom

³Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Debrecen

Összefoglalás

A talaj fizikai leromlása, tömörödése világméretű jelenség, ami hazánkban is nagy területeket érint. A talaj termékenységének megőrzése a gazdaságos szántóföldi növénytermesztés alapfeltétele. A talaj tömörödését a rendszeresen végzett talajlazítással megelőzhetjük, a már kialakult tömödött rétegeket megszüntethetjük.

Kutatómunkánk célja, hogy az évi rendszerességgel végzett középmező lazítás talajtömörödésre gyakorolt hatását számszerűsítsük, összehasonlítsuk egy szántásra alapozott művelési rendszerben kialakult talajállapottal. Vizsgálatainkat Karcag határában, nagy agyagtartalmú, kötött talajon végeztük, egy helyi mezőgazdasági vállalkozó egyik tábláján, amelyen az elmúlt évtizedben minden évben középmező lazítást végzett, illetve a másik, szomszédos táblán pedig szántást. Három alkalommal vizsgáltuk a talaj penetrációs ellenállását és nedvességtartalmát, ezeket az eredményeket értékeltük.

Megállapítottuk, hogy a talaj rendszeres lazítása kedvező hatást gyakorolt a penetrációs ellenállás alakulására. Az évente középmező-lazított terület a teljes, 60 cm mélységű rétegben alacsonyabb ellenállást mutatott, mint a szántott talaj. A szántott táblán kimutatható a rendszeresen művelt réteg alatti tömörödött, nagy mechanikai ellenállású talajréteg, 30 cm mélységben a talaj penetrációs ellenállása tavasszal is eléri a 8 MPa értéket, ősszel pedig közelíti a 10 MPa-t.

Vizsgálataink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy az évente végzett talajlazítással kedvező fizikai állapotok hozhatók létre a termesztett növény számára, ami nem jár magasabb üzemanyag fogyasztással, mint a szántás és kevesebb munkaidő ráfordítással végezhető el.

Kulcsszavak: talajlazítás, talajtömörödés, penetrációs ellenállás

Evaluation of a cultivation system based on annual loosening in virtue of soil penetration resistance data

¹G. TUBA – ²O. GULYBÁN – ¹GY. KOVÁCS – ³P. M. NAGY –

^{1,3}L. SINKA – ¹J. ZSEMBELI

¹MATE Karcagi Kutatóintézet, Karcag

²h.a.t. Agro Kft., Szeghalom

³Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Debrecen

Summary

The physical degradation and compaction of the soils are global problems that affect large areas also in Hungary. The preservation of soil fertility is a fundamental aim of economic crop production. Soil compaction can be prevented by the application of regular loosening, or the already formed compacted layers can be eliminated.

The main goals of our research were to quantify the impact of annual medium-deep loosening on soil compaction and to compare the soil status under loosening and ploughing. The measurements were carried out on a compacted soil with high clay content near Karcag. The examined plot was loosened each year during the last decade by a local farmer, while the control plot was a neighbouring one under conventional tillage based on ploughing. The penetration resistance and the soil moisture content values were measured three times and evaluated.

We found that the regular loosening of the soil had favourable effect on its penetration resistance. The annually loosened area showed lower resistance down to the entire 60 cm deep soil layer than in the ploughed soil. In the ploughed plot, a compacted plough pan could be figured out under the regularly cultivated layer, the

penetration resistance at the depth of 30 cm reached 8 MPa in spring, while it was almost 10 MPa in autumn time.

On the base of our measurements, we concluded that annual loosening of the soil results in a soil physical status favourable for the crops, while the fuel consumption is not higher but the labour hours are lower compared to conventional ploughing.

Keywords: soil loosening, soil compaction, penetration resistance

Оценка основанной на ежегодно проводимом рыхлении почвы системы обработки на основе пенетрационного сопротивления почвы

¹Г. ТУБА – ²О. ГУЙБАН – ¹ДЬ. КОВАЧ – ³П. М. НАДЬ –
^{1,3}Л. ШИНКА – ¹Ё. ЖЕМБЕЛИ

¹МАТЕ Карцагский Исследовательский Институт, Карцаг

²h.a.t. «Agro Kft.» ООО, Сегхалом

³Дебреценский Университет, Докторская Школа им.Керпей Калмана, Дебрецен

Резюме

Физическое ухудшение почвы, её уплотнение – всемирное явление, которое и в Венгрии затрагивает большие территории. Сохранение плодородности почвы является основным условием рентабельного пахотного растениеводства. Уплотнение почвы можем избежать регулярно проведённым рыхлением почвы, можем устранить уже образовавшиеся уплотнённые слои.

Цель нашей исследовательской работы – показать в цифрах влияние проведенного регулярно ежегодно среднеглубокого рыхления на уплотнение почвы, сравнить его с состоянием почвы, сформированным в системе обработки, основанной на вспашке. Наши исследования проводили на окраине Карцага, на связанной, с большим содержанием глины почве, на площади одного местного сельскохозяйственного предпринимателя, на которой в последнее десятилетие каждый год проводили среднеглубокое рыхление, и на другом, соседнем участке

проводили вспашку. Три раза исследовали пенетрационное сопротивление почвы и содержание влаги, оценивали эти результаты.

Установили, что регулярное рыхление почвы оказывает благоприятное влияние на формирование пенетрационного сопротивления. Ежегодно средне-глубоко рыхленая площадь показала в полном, на глубине 60 см слое, меньшее сопротивление, чем вспаханная почва. На вспаханном участке можно показать под систематически обработанным слоем уплотнённый, большого механического сопротивления слой почвы, на глубине 30 см пенетрационное сопротивление почвы весной достигло величины 8 МПа, а осенью приблизилась к 10 МПа.

На основе наших исследований мы пришли к выводу, что проводимым ежегодно рыхлением почвы можно создать благоприятные физические состояния почвы для выращиваемых растений, что не сочетается с большим потреблением горючего топлива, чем вспашка, и что можно провести с меньшей затратой времени.

Ключевые слова: рыхление почвы, уплотнение почвы, пенетрационное сопротивление

Bevezetés

A fenntartható mezőgazdasági termelés egyik alapeleme a legfontosabb természeti erőforrásunkat képző talajkészletünk ésszerű hasznosítása, védelme, sokoldalú funkcióképességének fenntartása (Várallyay 1993). Farkas és Gyuricza (2017) szerint a talajok állapotának ismerete a gazdálkodók egyik legfontosabb feladata. A talaj tömörödése, a művelési hibák okozta szerkezetleromlás, jelentős természeti és gazdasági kárt okozó jelenségek. A tömörödött talajokon csak egyre nagyobb energiabefektetéssel lehet megfelelő minőségű talajművelést végezni. A talaj fizikai állapota alapvetően meghatározza a benne élő növények életfeltételeit. Szántóföldi növények igénye alapján optimálisnak tekinthető a talaj, ha kedvezően lazult, ezzel összhangban átvegyőzött és kedvező a vízforgalma (Zsembeli 2006). A szakszerű gazdálkodás, talajművelés során ezért mindent meg kell tenni a talajtömörödés elkerülése, továbbá a tömörödött talajok fellazítása, megjavítása érdekében (Birkás 2006). A talajtömörödés következtében nő a talaj mechanikai ellenállása, térfogattömege és csökken a porozitása, azon belül a gravitációs pórustér aránya (Nyiri 1993). Campbell (1994) vizsgálatai szerint tömörödött talajban a makropórusok aránya 20% alá

csökken. A talajtömörödés oka lehet természetes folyamat is, de a szántóföldek talajának tömörödésében döntő jelentősége van a helytelen talajművelésnek (Várallyay 1996). A művelés során a legtöbb hibát a szántással lehet elkövetni, mert az eke a nedves talajban tömör művelő talpat hoz létre a művelt és a nem bolygatott réteg határán (Birkás 2006). A szántás hosszú időn keresztül az egyedüli alampművelési mód volt a talajhasználatban és ma is az egyik legelterjedtebb eljárásnak számít, azonban ez az egyik legtöbb energiát igénylő eljárás a növénytermesztésben. Azonos mélységű művelést tekintve a szántás energiaigénye – talajállapottól függően – 10–50%-kal meghaladja a forgatás nélküli technológiáékét (Moitzi et al. 2013). Számos kutató évtizedek óta vizsgálja a szántás nélküli talajművelés lehetőségeit. Sikerült kimutatniuk, hogy a szántás elhagyásával jelentős mértékben csökkenthető a talaj tömörödése, mérséklődik a talajellenállás, csökken a talaj nedvességvesztése, ezáltal javul a termékenység (Rátonyi et al. 2003, Forgács et al. 2005, Sulyok et al. 2006, Kovács et al. 2010, Tuba 2013, Zsembeli et al. 2015, Birkás 2017, Kuhwald et al. 2020, Dekemati et al. 2021).

A talajellenállás az az erő, amelyet a talaj a műveléskor a művelőeszközzel szemben kifejt. A talajrészecskék szétválasztással szembeni ellenállásából, a talaj és a művelőeszköz között fellépő súrlódásból, a talajrészecskék közötti súrlódásból és a talaj tömegéből tevődik össze (Birkás 1995). A tömörödött talaj mechanikai ellenállása magas, a szakirodalom a károsan tömör talajt a szabadföldi vízkapacitásnál (VKsz) általánosan 3 MPa talajellenállás feletti értékkel, vagy 1,5 g/cm³ térfogattömeggel jellemzi (Soane és Ourverkerk 1995, Badalíková 2010). Számos kutató vizsgálatai során a penetrométerrel mért ellenállást lényegesen érzékenyebb mutatónak találta a talajtömörödés kifejezésére, mint a térfogattömeget (Freitag 1971, Pigeon és Soane 1977, Sanchez 1990, Bogunovic et al. 2018, Sartori et al. 2021). A penetrométerrel mért talajellenállás az egyik leggyakrabban használt módszer a talaj tömörödöttségének, illetve lazultságának, a tömörödött réteg vastagságának és mélységbeli elhelyezkedésének, valamint a talajfizikai állapot térbeli és időbeli változásának vizsgálatára (Koolen és Kuipers 1983). A talajtömörödés, a kialakult művelőtálp rétegek megszüntetésére a különböző közép- vagy mélylazítók használhatók. A közép- vagy mélylazítással megszüntethető a tömör talajállapot, növekszik a talaj vízbefogadó képessége, csökken a talaj

nedvességvesztesége, miközben – azonos művelési mélység esetén – kisebb az energiaigény, mint szántás esetén (Rátonyi et al. 2020). A lazítással kialakított kedvező talajszerkezet fenntartására sikeresen alkalmazhatók a különböző talajjavító anyagok, komposztok, vagy talajkondicionáló szerek (Blaskó 2005, Zsembeli et al. 2019, Zsembeli et al. 2021, Tuba et al. 2021).

Kutatómunkánk célja egy karcagi gazdálkodó által már több éve alkalmazott, egyedi, az évenként végzett középmező talajlazításra alapozott művelési rendszer vizsgálata, értékelése és összehasonlítása a hagyományos, szántásra alapozott rendszerrel, a talaj tömődöttségi fokát mutató penetrációs ellenállási adatok alapján.

Anyag és módszer

A kísérleti terület Karcag belterületétől északra, a Tilalmasi út két oldalán elhelyezkedő két mezőgazdasági táblán került kijelölésre. Az előzetes becslések és az elvégzett laborvizsgálatok szerint is a két tábla közel azonos tulajdonságú, nagy agyagtartalmú, kötött réti talajú. Az út egyik oldalán a nyolc éve rendszeres lazítással művelt (koordinátái: 47.366814, 20.923209), míg a másik oldalon a hagyományosan művelt (szántott) tábla található (koordinátái: 47.367396, 20.924604). Az évenkénti talajlazítás mélysége, a talaj állapotától és növény igényeitől függően, 25–30 cm (Horsch Terrano 4 MT) vagy 40–50 cm (5 késes IH lazító). A hagyományosan művelt táblán minden évben 25–30 cm mélységig szántanak IH ágyekével.

2018 őszén mindkét táblán egy-egy 100 m²-es mintaterületet határoltunk le, ahol 60 cm mélységig 20 cm-es rétegenként talajmintákat vettünk, majd ezeken a helyeken végeztük a helyszíni vizsgálatokat, összesen három alkalommal: 2018 őszén, 2019 nyarán és őszén. A talajvizsgálati adatokból a művelés szempontjából elsődleges fontosságú paramétereket határoztuk meg (1. táblázat).

A penetrációs ellenállás mérését „3T System” elektronikus rétegindikátorral (a továbbiakban penetrométer) végeztük. A mérőműszer eredményesen használható nagy agyagtartalmú, tömődött talajok gyors, nagy ismétlésszámban végzett vizsgálatára (Sinóros-Szabó és Szöllősi 1999, Tuba et al. 2013, Tuba et al. 2020).

1. táblázat. A kísérleti terület talajának kötöttsége és szemcseösszetétele

Művelési mód/mélység (1)	K _A (2)	Szemcsefrakció százalékos mennyisége (%) (3)						
		>0,25 mm	0,25 mm	0,05 mm	0,02 mm	0,01 mm	0,005 mm	<0,002 mm
Lazított (4) 0–20 cm	42	0,43	11,32	19,33	15,17	10,83	7,00	35,92
Lazított (4) 20–40 cm	46	0,68	9,46	21,76	13,72	10,71	7,87	35,80
Lazított (4) 40–60 cm	48	0,13	10,58	20,84	12,44	12,61	7,23	36,18
Szántott (5) 0–20 cm	45	0,20	15,27	24,96	12,73	8,26	7,27	31,31
Szántott (5) 20–40 cm	47	0,17	13,79	22,71	13,86	8,68	7,68	33,10
Szántott (5) 40–60 cm	49	0,20	11,14	25,32	13,92	7,21	9,22	32,97

Table 1. Plasticity index according to Arany and partical size distribution of the soil of the experimental plots. (1) Cultivation system/depth, (2) Plasticity index according to Arany, (3) Partical size distribution (%) (4) Loosening, (5) Ploughing

A készülék 60 cm mélységig 1 cm-es rétegenként folyamatosan méri és rögzíti a talaj penetrációs ellenállását, amit MPa-ban fejez ki. A penetrométeres méréseket helyszínenként és alkalmanként hét ismétlésben végeztük. A „3 T System” műszer a legfelső talajréteg vizsgálatára nem alkalmas, ezért a mérési adatok felső 0–5 cm-ét, a szakirodalomban talajfelszín effektusnak nevezett (Rohani és Baladi 1981, Rátonyi 1999) jelenség miatt, nem értékeltük. Mivel a penetrációs ellenállás a talaj nedvességtartalmával fordítottan, a térfogattömeggel pedig egyenes arányban változik (Chapbell és O`Sullivan 1991), ezért ugyanekkor, három ismétlésben, 10 cm-es rétegenként talajmintákat vettünk a talaj aktuális nedvességtartalmának meghatározása céljából. A talaj nedvességtartalmát gravimetriásan határoztuk meg. Az adatokat a „3T System” penetrométer saját feldolgozó programja, Microsoft Excel 2016 és SPSS 25.0 programcsomagok segítségével dolgoztuk fel és értékeltük. A mérési eredmények statisztikai elemzése során Kolmogorov-Smirnov teszttel ellenőriztük az adatok normális eloszlását, majd egytényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk a talajművelési módok penetrációs ellenállásra gyakorolt hatását. Jelentős eltérés esetén

meghatároztuk a legkisebb szignifikáns különbséget ($SzD_{5\%}$). A talajnedvesség adatok elemzése során kiszámítottuk azok szórását, amit – az átlagok mellett – feltüntettünk az ábrákon.

Eredmények és értékelés

A vizsgálatainkat három alkalommal végeztük 2018 őszén (betakarítás után), 2019 nyarán (növényállományban) és 2019 őszén (betakarítás és tarlóhántás után). A penetrométeres vizsgálatok adatait, a talajfelszín effektus miatt, 5 cm mélységtől értékeltük és ábráztuk.

2018 őszén, a lazított területen cukorrépa betakarítás (november 2.), a hagyományosan művelt területen kukorica betakarítás (október 5.) után végzett vizsgálatok eredményei (*1. ábra*) szerint a rendszeresen lazított terület talaja jelentős mértékben szárazabb, mint a hagyományosan művelt talaj. Ennek oka nem a talajművelésben keresendő, hanem a két jelzőnövény eltérő vízigényében, valamint a két vizsgálati időpont közötti időszak időjárásában, ugyanis kukorica korai betakarítása után meleg, száraz időszak következett, mindössze 13,3 mm csapadék hullott, ami a területre jellemző október havi csapadékmennyiségnek csupán 30%-a (*Juhász et al. 2020*), így a talaj kiszáradt.

A talaj penetrációs ellenállását vizsgálva (*1. ábra*) megállapítottuk, hogy a rendszeresen lazított terület talaja az alacsonyabb nedvességtartalom ellenére is jelentősen enyhébb tömörödést mutatott. Hagyományos művelés esetén 20 cm-es mélységtől megfigyelhető volt a talaj nagymértékű tömörödése. A rendszeresen művelt réteg alatt itt egy tömörödött, nagy mechanikai ellenállású művelőtalp réteg alakult ki, ami a teljes 60 cm-ig vizsgált rétegben megmaradt. A két művelési mód közötti különbség a statisztikai elemzés során szignifikánsnak mutatkozott (*2. táblázat*).

A felső 60 cm-es talajrétegben mért adatok átlagai közötti különbség 2,68 MPa, a legkisebb szignifikáns különbség értéke $SzD_{5\%}=0,23$ MPa, tehát a két művelési mód között jelentős különbség van a talaj lazultságát tekintve.

1. ábra. A talaj penetrációs ellenállása (A) és nedvességtartalma (B) a betakarítás után (Karcag, 2018 ősz)

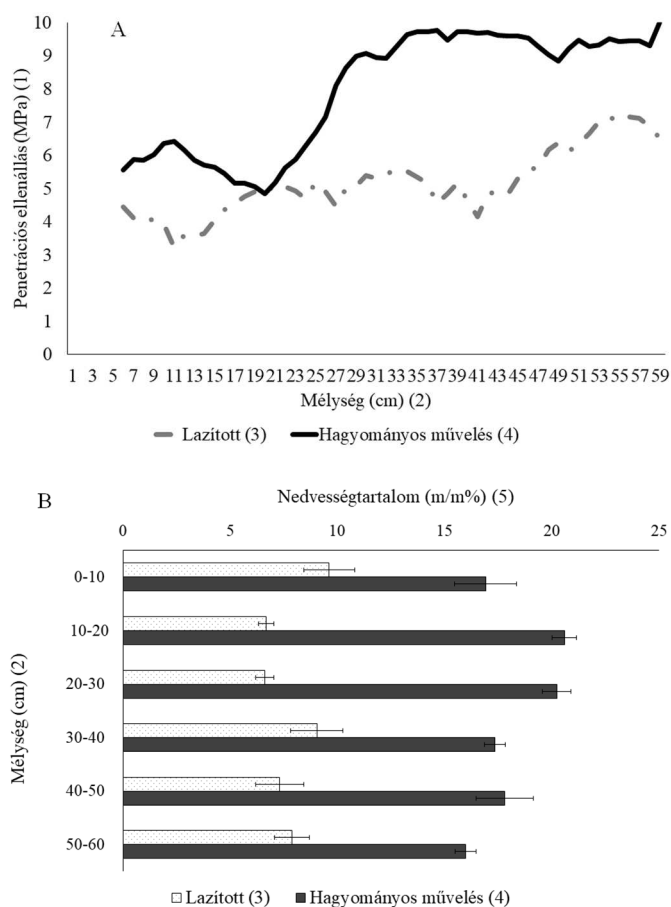


Figure 1. Penetration resistance (A) and moisture content (B) of the soil after harvest (Karcag, autumn 2018). (1) Penetration resistance, (2) Depth, (3) Loosened, (4) Conventional tillage, (5) Moisture content

A következő vizsgálatra 2019. május végén került sor. Ekkor mindkét táblán napraforgót termesztettek. Az előző évi méréshez hasonlóan most is a lazításra alapozott talajművelés bizonyult kedvezőbbnek a talaj penetrációs ellenállást tekintve (2. ábra). Közel azonos nedvességtartalom mellett a

penetrációs ellenállás értékek a hagyományos művelésnél a teljes vizsgált mélységben magasabbak, a talaj tömődöttebb. Megfigyelhető, hogy az előző ősszel kimutatott 20 cm mélységben kezdődő tömődött, nagy ellenállású réteget az őszi szántás nem törte át, nem lazította fel. Valószínű, hogy az őszi alapművelés csak eddig a mélységig hatolt le, az itt jelentkező nagy energiaigény miatt a földművelő nem végzett mélyebb művelést.

2. táblázat. Az egytényezős varianciaanalízis eredményei a 2018 őszi mérések alapján

Kezeléscsoportok (1)	Darab- szám (2)	Összeg (3)	Átlag (4)	Variancia (5)		
Lazított (9)	324	1674,1	5,17	7,88		
Hagyományos művelés (10)	296	2324	7,85	4,47		
Tényezők (6)	SS	df	MS	F	p-érték (7)	F krit. (8)
Csoportok között (11)	1114,63	1	1114,63	178,21	6,72E-36	3,86
Csoporton belül (12)	3865,42	618	6,25			
Összesen (13)	4980,05	619				

Table 2. Results of one-way ANOVA for 2018. (1) Treatment groups, (2) Number of cases, (3) Sum of Squares, (4) Mean, (5) Variance, (6) Source, (7) p-value, (8) critical F-value, (9) Loosened, (10) Conventional tillage, (11) Between groups, (12) Within groups, (13) Total

Az adatok elemzése során megállapítottuk, hogy a hagyományosan művelt tábla talajának a felső 60 cm-re vonatkozó átlagos penetrációs ellenállás értéke 6,43 MPa, míg a rendszeresen lazított területen ez az érték csupán 3,54 MPa volt. Az elvégzett statisztikai vizsgálat (3. táblázat) igazolta, hogy ez jelentős különbséget jelent, $SzD_{5\%}=0,17$ MPa.

A harmadik vizsgálat időpontja a napraforgó betakarítása és a tarlóhántás utánra esett, 2019. szeptember 30-án végeztük el a méréseket. A talaj nedvességtartalmát vizsgálva megállapítható, hogy a rendszeresen lazított

terület kedvezőbb vízforgalmú, a talaj a teljes vizsgált mélységig (60 cm-ig) magasabb nedvességtartalmú, mint hagyományos művelés esetén (3. ábra).

2. ábra. A talaj penetrációs ellenállása (A) és nedvességtartalma (B) napraforgó állományban (Karcag, 2019 nyár)

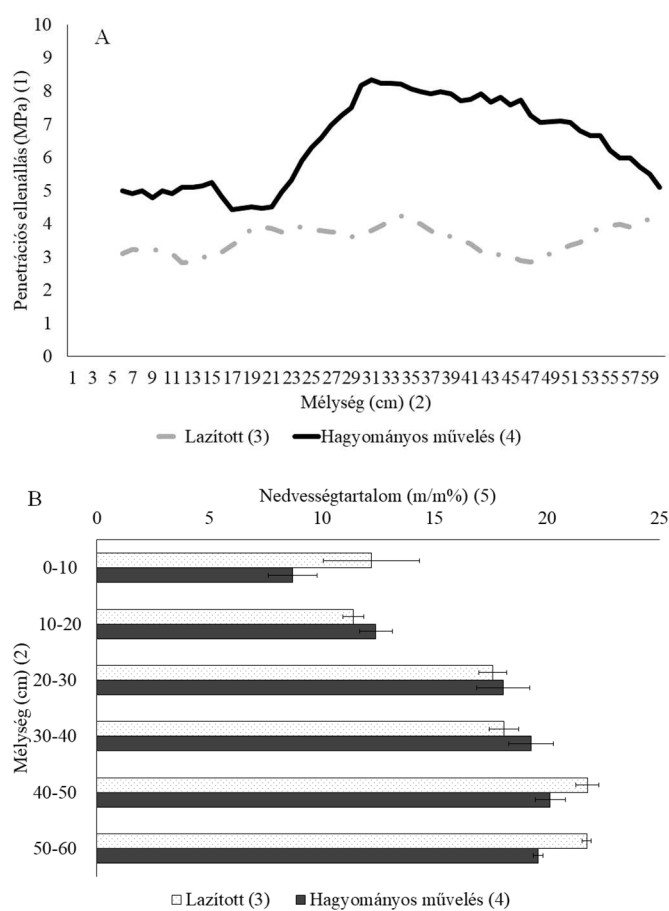


Figure 2. Penetration resistance (A) and moisture content (B) of the soil under sunflower vegetation (Karcag, May 2019). (1) Penetration resistance, (2) Depth, (3) Loosened, (4) Conventional tillage, (5) Moisture content

3. táblázat. Az egytényezős varianciaanalízis eredményei a 2019 nyári mérések alapján

Kezeléscsoportok (1)	Darab- szám (2)	Összeg (3)	Átlag (4)	Variancia (5)		
Lazított (9)	385	1362,8	3,54	1,60		
Hagyományos művelés (10)	385	2475,5	6,43	6,43		
Tényezők (6)	SS	df	MS	F	p-érték (7)	F krit. (8)
Csoportok között (11)	1607,92	1	1607,92	400,52	4,97E-72	3,85
Csoporton belül (12)	3083,17	768	4,01			
Összesen (13)	4691,09	769				

Table 3. Results of one-way ANOVA for 2019. (1) Treatment groups, (2) Number of cases, (3) Sum of Squares, (4) Mean, (5) Variance, (6) Source, (7) p-value, (8) critical F-value, (9) Loosened, (10) Conventional tillage, (11) Between groups, (12) Within groups, (13) Total

A penetrációs értékeket elemezve azt tapasztaltuk, hogy az elvégzett tárcsás tarlóhántás a talaj felső rétegében kismértékű tömörödést eredményezett a művelés mélysége alatt. A hagyományos művelésnél ez 7–9 cm mélységben, a lazításos művelésnél pedig 10–12 cm mélységben jelentkezett, kismértékű művelőtalp réteghez hasonló kiugró ellenállásértékek formájában (3. ábra). Ez a talajban haladó tárcsa talajra kifejtett nyomásának eredménye, de egyik esetben sem jelent súlyos problémát, mivel nem jelentős a mértéke és az őszi alpművelés ezt a réteget mindenképpen felszámolja.

A teljes vizsgált réteg (60 cm) adatait tekintve megállapítható, hogy ebben az esetben is a rendszeresen lazított tábla talaja a kevésbé tömődött. A tömődöttségbeli különbség, a statisztikai elemzés eredménye szerint (4. táblázat), ebben az esetben is szignifikáns.

A felső 60 cm-es rétegre vonatkozó átlagértékek a hagyományos művelésél 7,2 MPa, a rendszeres mélylazításon alapuló művelésnél pedig 4,7 MPa, SzD_{5%}=0,2 MPa.

3. ábra. A talaj penetrációs ellenállása (A) és nedvességtartalma (B) napraforgó betakarítása és tarlóhántás után (Karcag, 2019 ősz)

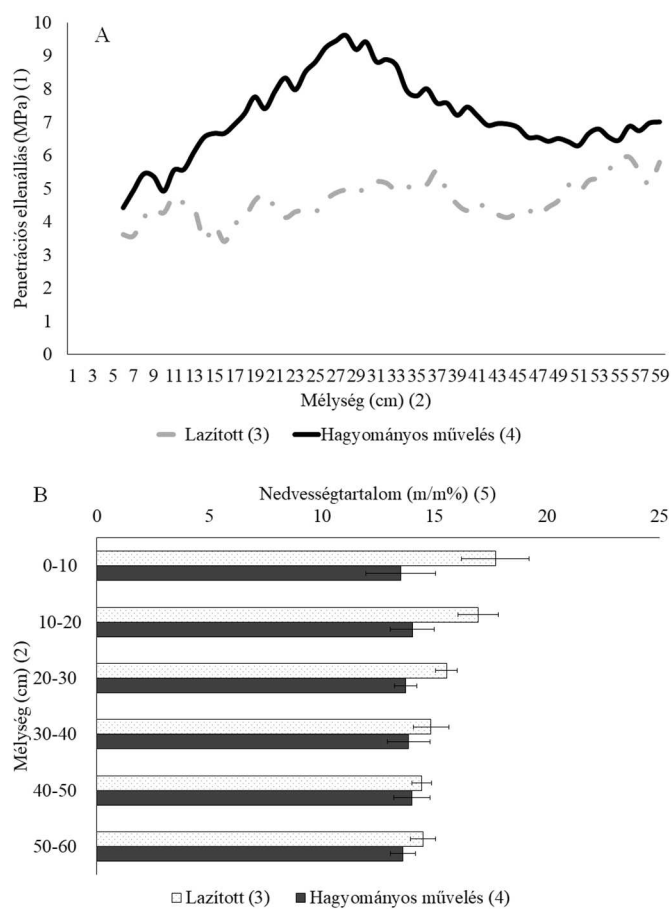


Figure 3. Penetration resistance (A) and moisture content (B) of the soil after harvest and stubble cultivation (Karcag, autumn 2019). (1) Penetration resistance, (2) Depth, (3) Loosened, (4) Conventional tillage, (5) Moisture content

4. táblázat. Az egytényezős varianciaanalízis eredményei a 2019 őszi mérések alapján

Kezeléscsoportok (1)	Darab- szám (2)	Összeg (3)	Átlag (4)	Variancia (5)		
Lazított (9)	378	1759,60	4,66	5,78		
Hagyományos művelés (10)	349	2512,60	7,20	4,91		
Tényezők (6)	SS	df	MS	F	p-érték (7)	F krit. (8)
Csoportok között (11)	1174,77	1	1174,77	219,10	1,64E-43	3,85
Csoporton belül (12)	3887,38	725	5,36			
Összesen (13)	5062,15	726				

Table 4. Results of one-way ANOVA for 2019. (1) Treatment groups, (2) Number of cases, (3) Sum of Squares, (4) Mean, (5) Variance, (6) Source, (7) p-value, (8) Critical F-value, (9) Loosened, (10) Conventional tillage, (11) Between groups, (12) Within groups, (13) Total

Következtetések

Kutatómunkánk egy egyedi, évenként végzett talajlazításra alapozott talajművelési rendszer vizsgálatára irányult. Ezt a szokásostól eltérő talajművelési rendszert hasonlítottuk össze egy hagyományos, szántásra alapozott rendszerrel, a talaj tömődöttségi fokát mutató penetrációs ellenállási adatok alapján.

Vizsgálataink eredményeként arra a következtetésre jutottunk, hogy a talaj penetrációs ellenállása tekintetében a szántás elhagyása, a rendszeres lazításra alapozott talajművelési rendszer kedvező hatású. A lazítás megszünteti az esetleges tömörödött művelőtalp rétegeket, és évenkénti rendszeres ismétlésének köszönhetően ezek a károsan tömörödött rétegek nem alakulnak ki. A hagyományos művelés esetén már a felszínhez közel megtaláltuk a károsan tömörödött réteget, ezen felül a rendszeresen művelt talajréteg alatt, még kedvező nedvességtartalom mellett is, meredeken emelkedő penetrációs görbét tapasztaltunk.

A teljes vizsgált mélységet tekintve a rendszeresen lazított területen mért penetrációs ellenállás minden esetben szignifikánsan alacsonyabbnak bizonyult, mint a hagyományos művelésnél mért értékek. 2018 őszén a lazított területen mért penetrációs ellenállás mintegy 34%-kal alacsonyabb volt, mint hagyományos művelés esetén. Ugyanez a különbség az ősszel elvégzett középmeélylazítás hatására 2019 nyarán még nagyobb, ekkor 45%-kal alacsonyabb a penetrációs ellenállás a lazított területen. 2019 őszén a középmeélylazítás hatása az ülepedésnek betudhatóan már gyengül, a talaj penetrációs ellenállása a rendszeresen lazított területen 35%-kal alacsonyabb, mint a hagyományosan művelt tábláé.

Eredményeink alapján az évi rendszerességgel végzett talajlazítással megszüntethetők a régebben kialakult tömörödött talajrétegek, csökkenthető a belvízveszély, jobb víz- és levegőforgalmi tulajdonságok érhetőek el a talajban, ami által a talaj termőképessége is magasabb lehet. Ökonómiai elemzéseket nem végeztünk, de a tapasztalatok alapján az évenként végzett lazításra alapozott talajművelési rendszer alkalmazása nem jár magasabb üzemanyag fogyasztással, mint a szántás és kevesebb munkaidő ráfordítással végezhető el. Csupán a talaj állapotának szempontjából megközelítve, a nagy agyagtartalmú, kötött talajokon kifejezetten ajánlható ez a rendszer.

IRODALOM

- Badalíková B.*: 2010. Influence of Soil Tillage on Soil Compaction. [In: Dedousis A.-Bartzanas T. (eds.) Soil Engineering. Soil Biology. vol 20.] Springer. Berlin. Heidelberg.
- Birkás M.*: 1995. A talajművelés minőségi szempontjai. [In: Vincze M. (szerk.) Földművelési praktikum.] Gödöllő. 114-118.
- Birkás M.*: 2006. Talajművelés. [In: Földművelés és földhasználat.] Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. Budapest. 80-177.
- Birkás M.*: 2017. Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 482.
- Blaskó L.*: 2005. Talajdegradációs folyamatok és a talajjavítás lehetőségei a Tiszántúl kötött talajain. [In: Antal et al. (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés.] SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar. Kecskemét. Gödöllő. 32-42.

- Bogunovic, I.-Pereira, P.-Kisic, I.-Sajko, K.-Sraka, M.:* 2018. Tillage management impacts on soil compaction, erosion and crop yield in Stagnosols (Croatia). *CATENA*. 160: 376–384.
- Chambell, D. J.-O` Sullivan, M. F.:* 1991. The cone penetrometer in relation to trafficability, compaction, and tillage. [In: Smith and Mullis (eds.) *Soil Analysis (Physical Methods)*.] 399–429.
- Chambell, D. J.:* 1994. Determination and use of soil bulk density in relation to soil compaction. [In: Soane and Van Ouwerkerk (eds.) *Soil compaction in crop production*.] Elsevier Sci. 113–139.
- Dekemati, I.-Simon, B.-Bogunovic, I.-Vinogradov, S.-Modiba, M. M.-Gyuricza, C.-Birkás, M.:* 2021. Three-Year Investigation of Tillage Management on the Soil Physical Environment, Earthworm Populations and Crop Yields in Croatia. *Agronomy*. 11: 825.
- Farkas Cs.-Gyuricza Cs.:* 2017. A talaj tömörödése. [In: *Földművelés és földhasználat*.] Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó. Budapest. 50–52.
- Forgács, L.-Zsembeli, J.-Tuba, G.:* 2005. Examination of a soil protective cultivation method in the Research Institute of Karcag. *Realizáciou poznatkov vedy a vyskumu k trvalo udržateľnému poľnohospodárstvu*. 64–68
- Freitag, D. R.:* 1971. Methods of measuring soil compaction. [In: Barnes, K. K. (ed.) *Compaction of agricultural soils*.] ASAE monograph. 47–103.
- 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*. 173: 105400.
- Koolen, A. J.-Kuipers, H.:* 1983. *Agricultural soil mechanics*. Springer-Verlag. Berlin. 356.
- Kovács, Gy.-Őri, N.-Tuba, G.:* 2010. Effects of soil cultivation systems on the factors of the soil carbon cycle. *Növénytermelés Suppl*. 59: 37–40.
- Kuhwald, M.-Hamer, W. B.-Brunotte, J.-Duttmann, R.:* 2020. Soil Penetration Resistance after One-Time Inversion Tillage: A Spatio-Temporal Analysis at the Field Scale. *Land*. 9: 482.
- Moitzl, G.-Haas, M.-Wagentristl, H.-Boxberger, J.-Gronauer, A.:* 2013. Energy consumption in cultivating and ploughing with traction improvement system and consideration of the rear furrow wheel-load in ploughing. *Soil and Tillage Research*. 134: 56–60.
- Nyiri L.:* 1993. *Földműveléstan*. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 66–69.
- Pigeon, J. D.-Soane, B. D.:* 1977. Effects of tillage and direct drilling on soil properties during the growing season in a long term baley mono- culture system. *J. Agricultural Sci*. 88: 432–442.
- Rátonyi T.:* 1999. A talaj fizikai állapotának penetrométeres vizsgálata talajművelési tartamkísérletben Doktori PhD értekezés. 8.

- Rátonyi T.–Megyes A.–Nagy J.:* 2003. Talajvédő természetstechnológiai rendszerek értékelése. [In: Nagy J. (szerk.) Kukorica hibridek adaptációs képességének és termésbiztonságának javítása.] Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 141–149.
- Rátonyi T.–Ragán P.–Nagy J.–Széles A.:* 2020. A kukorica talajművelési rendszereinek összehasonlító értékelése szántóföldi tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával. Agrofórum. 31. 10: 24–27.
- Rohani, B.–Baladi, G. Y.:* 1981. Correlation of mobility cone index with fundamental engineering properties of soil. Proc. 7th Int. Conf. Int. Soc. Terrain-Vehicle Systems. Calgary. Vol. 3. 959–990.
- Sanchez, H. A.:* 1990. Comparison of soil physical properties developed by four tillage system on chalmers silty clay loam soil. PhD. Purdue University. West Lafayette. Indiana. 106.
- Sartori, F.–Piccoli, I.–Berti, A.:* 2021. How tillage systems and cover crops affect soil penetration resistance. EGU General Assembly. 19–30 Apr 2021. EGU21-14424.
- Sinóros-Szabó B.–Szöllősi I.:* 1999. A 3T SYSTEM alkalmazása és gyakorlati jelentősége. Gyakorlati Agrofórum. 10. 7: 15–16.
- Soane, B. D.–Ourwerkerk, C.:* 1995. Implications of soil compaction in crop production for the quality of the environment. Soil and Tillage Research. 35: 5–22.
- Sulyok D.–Rátonyi T.–Huzsvai L.:* 2006. Alternatív talajművelési rendszerek vizsgálata kötött réti talajon. [In: Agrárinformatika.] Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum. Debrecen. 150–165.
- Tuba G.:* 2013. A talaj fizikai állapotának vizsgálata hagyományos és redukált talajművelési rendszerben. Acta Agraria Debreceniensis. 51: 183–186.
- Tuba G.–Nagy P. M.–Zsembeli J.:* 2020. A talaj tömörödésének vizsgálata penetrométerekkel. Talajvédelem Különszám. Talajtani Vándorgyűlés 2018. 215–227.
- Tuba, G.–Kovács, Gy.–Sinka, L.–Nagy, P.–Rivera-Garcia, A.–Bajusová, Z.–Findura, P.–Zsembeli, J.:* 2021. Effect of soil conditioning on soil penetration resistance and traction power demand of ploughing. Agriculture (Poľnohospodárstvo). 67. 3: 113–123.
- Várallyay Gy.:* 1993. A talajhasználat környezetvédelmi problémái. Országos Környezetvédelmi Konferencia. 57.
- Várallyay Gy.:* 1996. Magyarország talajainak érzékenysége a szerkezetrombolásra és a tömörödéssre. Környezet- és tájgazdálkodási füzetek. 2. 1: 15–30.
- Zsembeli J.:* 2006. Fizikai és biológiai talajállapot-javítás. [In: Birkás M. (szerk.) Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 284–287.
- Zsembeli J.–Szűcs L.–Tuba G.–Czibalmos R.:* 2015. Nedvességtakarékos talajművelési rendszer fejlesztése Karcagon. [In: Balázs és Madarász (szerk.)

Környezetkímélő talajművelési rendszerek Magyarországon: elmélet és gyakorlat.] MTA CSFK Földrajztudományi Intézet. Budapest. 122-133.

Zsembeli, J.-Sinka, L.-Rivera-García, A.-Czellér, K.-Tuba, G.-Koloman, K.-Fındura, P.: 2019. Effect of soil conditioning on the moisture content and the salt profile of the soil under irrigation with saline water. Agriculture (Poľnohospodárstvo). 65: 77-87.

Zsembeli J.-Kovács Gy.-Sinka L.-Rivera Garcia, A.-Nagy P. M.-Tuba G.: 2021. Talajjavító és talajkondicionáló szerek vizsgálata tenyészedényes kísérletben. [In: Balláné et al. (szerk.) A talajtan és a kapcsolódó tudományok időszerű kérdései: Kátai János professzor 70. születésnapja tiszteletére.] Debreceni Egyetem Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar. Debrecen. 306-311.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Tuba Géza - Gulybán Olivér - *Dr. Kovács Györgyi -
Nagy Pál Máté - Sinka Lúcia - Dr. Zsembeli József
MATE Karcagi Kutatóintézet
Karcag
Kisújszállási út 166.
H-5300
*Kovacs.Gyorgyi@uni-mate.hu

SZEMLE**Review****Győrffy Béla (1928–2002) emlékére ajánlom****Stabilitásanalízis a növénytermesztési tartamkísérletekben**

BERZSENYI ZOLTÁN

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

A termésstabilitás fontos cél, amikor értékeljük a termesztési rendszereket és kulcsfontosságú a klímaváltozáshoz történő adaptációban. A stabilitás kvantifikálására különböző diszciplínák a termésstabilitás mutatók széles körét fejlesztették ki. A szántóföldi tartamkísérletek olyan adatsorozatokot képeznek, amely lehetővé teszi a különböző agronómiai kezelések stabilitásának meghatározását. A dolgozat hangsúlyozza, hogy a genotípusok stabilitásának összehasonlítására kidolgozott módszerek felhasználhatók a különböző agronómiai kezelések összehasonlítására is. Korábbi kutatásaink alapján bemutatjuk a stabilitási mutatók alkalmazását két tartamkísérletben.

A kukoricaszár hatását vizsgáltuk a kukorica termésére és termésstabilitására egy 1961-ben Martonvásáron beállított tartamkísérletben, eltérő N műtrágya dózisoknál. Az adatsorozatot a trágyázási menedzsmentnek megfelelően felbontottuk extenzív (24 év) és intenzív (25 év) periódusokra. Szignifikáns különbségek voltak a termésreakciókban és a termésstabilitás mutatókban a menedzsment szintje és a kísérleti kezelések között.

Egy másik, 1960-ban Martonvásáron beállított tartamkísérletben öt növénytermesztési tényező hatását vizsgáltuk a kukorica terméshozadékára hét kezelésben. A vizsgált faktorok voltak: talajművelés, trágyázás, növényszám, fajta és növényápolás (gyomirtás). Minden faktornak volt egy optimális (kedvező) és egy minimális (kedvezőtlen) szintje. A vizsgált növénytermesztési tényezők a következő arányokban járultak hozzá a kukorica terméshozadékához (%): fajta 32,6, trágyázás 30,6, növényszám 20,2, gyomirtás 14,2, talajművelés 2,4. A lineáris regresszió analízis regressziós koefficiense megfelelően jellemezte a kezelések stabilitását a különböző környezetekben. Az AMMI modell értékes megközelítésnek bizonyult az agronómiai kezelés×környezet interakció értelmezésében és a kezelések átlagos teljesítményének és termésstabilitásának becslésében. Végül, útmutatást adunk a leggyakrabban felmerülő módszertani kérdésekhez, amikor a termésstabilitást analizáljuk a tartamkísérletekben.

Kulcsszavak: termésstabilitás, kezelés×környezet interakció, tartamkísérlet, regresszió analízis, AMMI modell

In memoriam Béla Győrffy (1928–2002)

Stability analysis in long-term crop production experiments

Z. BERZSENYI

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

Summary

The stability of crop yield is an important goal when evaluating crop production systems and is key in adapting to climate change. For quantifying stability, different disciplines have developed a wide range of yield stability measures. Long-term field experiments generate data sets that allow the quantification of stability for different agronomic treatments. This review emphasizes that methods for comparing the stability of genotypes can also be used for comparing different agronomic treatments.

On the basis of our earlier research we demonstrate the application of yield stability indices in two long-term experiments.

The effect of maize stalks on yield and yield stability of maize was investigated in a long-term experiment set-up in 1961 at Martonvásár with various levels of N fertilisation. The data series were split according to the fertilisation management into extensive (24 years) and intensive (25 years) periods. There were significant differences in yield responses and yield stability measurements between the level of management and among the experimental treatments.

In an other long-term experiment set up in Martonvásár in 1960, the effect of five crop production factors in increasing maize yields was studied in seven treatments. The factors studied were soil cultivation, fertilisation, plant density, variety and weed control. All factors had an optimum (favourable) and a minimum (unfavourable) level. The crop production factors were found to contribute in the following ratios (%) to an increase in maize yield: variety 32.6, fertilisation 30.6, plant density 20.2, weed control 14.2, soil cultivation 2.4. The regression coefficient of linear regression analysis provided a satisfactory characterisation of the stability of the treatments in different environments. The AMMI (additive main effects and multiplicative interaction) model proved to be a valuable approach for interpreting agronomic treatment×environment interactions and assessing the mean performance and yield stability of treatments. Finally, we provide a guidance for the most commonly encountered methodological issues when analysing yield stability in long-term experiments.

Keywords: yield stability, treatment-by-environment interaction, long-term experiment, regression analysis, AMMI model

Посвящается памяти Дьёрффи Белы (1928–2002)

Анализ стабильности в продолжительном растениеводческом опыте

З. БЕРЖЕНИ

Венгерский Аграрный и Физиологический Университет, Кампус в Капошваре,
Институт Растениеводства, Капошвар

Резюме

Стабильность урожая важная цель, когда оцениваем производственные системы и особенно важна в происходящей адаптации к изменению климата. Для квантификации стабильности разные дисциплины выработали широкий круг показателей стабильности урожая. Пахотные продолжительные опыты создают такие серии данных, которые делают возможным определить стабильность разных агрономических обработок. Эта работа подчёркивает, что выработанные методы для сравнения стабильности генотипов можно использовать также и для сравнения разных агрономических обработок. На основе наших более ранних опытов показываем применение показателей стабильности в двух продолжительных опытах.

Исследовали влияние стебля кукурузы на урожай кукурузы и стабильность урожая в установленном в 1961 году в Мартонвашаре (Martonvásár) продолжительном опыте, при различных дозах искусственного удобрения N. Серии данных в соответствии с менеджментом внесения удобрений разделили на экстенсивный (24 года) и интенсивный (25 лет) периоды. Были значительные различия в реакциях урожая и в показателях стабильности урожая между уровнем менеджмента и опытных дозах.

В другом продолжительном опыте, установленном в 1960 году в Мартонвашаре, исследовали влияние пяти растениеводческих факторов на рост урожая кукурузы в семи дозах. Эти исследованные факторы были: обработка почвы, внесение удобрений, число растений, сорт и уход за растениями (уничтожение сорняков). У каждого фактора был оптимальный (благоприятный) и минимальный (неблагоприятный) уровень. Эти исследованные растениеводческие факторы в следующих размерах способствовали увеличению урожая кукурузы (%): сорт 32,6, внесение удобрений 30,6, число растений 20,2, уничтожение сорняков 14,2, обработка

почвы 2,4. Регрессионный коэффициент линейного регрессионного анализа соответственно характеризовал стабильность доз в различном окружении. Модель АММИ оказалась интересным подходом в объяснении интеракции агрономическая обработка×окружение и в оценке средней продуктивности обработок и стабильности урожая. Наконец, даём предписание к наиболее часто возникающим методическим вопросам, когда анализируем стабильность урожая в продолжительных опытах.

Ключевые слова: стабильность урожая, интеракция обработка×окружение, продолжительный опыт, регрессионный анализ, модель АММИ

A stabilitás fogalma és jelentősége

A stabilitás különböző módon definiálható, specifikus jelentéssel magában foglalva a változatlanságot, a rezisztenciát és a rugalmasságot. A növénytermesztéssel kapcsolatban, a stabilitás fogalmát főként úgy használjuk, mint egy kritériumot, hogy mérjük egy specifikus tulajdonság időbeni vagy térbeni változatlanságát. Itt a stabilitás ezáltal úgy értelmezhető, mint a növénytermesztési outputok, különösen a termés állandósága hosszú időszakon keresztül vagy különböző környezetben. A növénytermesztési rendszerek stabilitása kulcsfontosságú a klímaváltozáshoz történő adaptációban és fontos cél, amikor diverzifikáljuk a növénytermesztési rendszereket (*Onofri et al. 2016, Nagy 2017, Chen et al. 2018, Schrama et al. 2018, Weih et al. 2021*). A termésstabilitás analízise fontosabbá vált az utóbbi években, mivel a klíma fokozódó variabilitása is összefügg a kultúrnövények termésének kisebb stabilitásával. A stabilitás nagyon fontos a növénynevelőknek, amikor a környezeti feltételekhez adaptálódott fajtákat állítanak elő. A termelőknek az időbeni stabilitás a fontos, mivel meghatározza az ökonómiai előre jelezhetőséget és csökkenti a kockázatot. Végül, a termésstabilitásnak nemzeti és globális dimenziója van az élelmiszerbiztonsággal összefüggésben (*Reckling et al. 2021*).

A termésstabilitást, növekvő fontossága miatt, szükséges objektív és értelmezhető módon kvantifikálni. Nem mérhető közvetlenül egyetlen évben egy szántóföldi kísérletben, több éven és/vagy termőhelyen végzett termésmérések alapján becsülhető. A termésstabilitás becsléséhez különböző statisztikai megközelítéseket (variancia és regresszió alapú, egytényezős és

többtényezős, statikus és dinamikus) használunk, melyek modellezik a variabilitást a különböző környezetekben. A stabilitásanalízisben a termesztési rendszereket gyakran stabilnak tekintik, amikor bizonyos variancia komponens kicsi. Ez magában foglalja, hogy a variabilitás nem kívánatos, függetlenül a termés szintjétől. Gyakran azonban nem a variabilitás a fő gond, hanem az alacsony termés bekövetkezésének kockázata. A kockázat egyaránt függ az átlagtól és a varianciától (*Mead et al.* 1986, *Piepho* 1998). Következésképpen a termésstabilitás időbeni mérése magában foglal legalább három komponenst: (1) átlagos termésszint, (2) a termés variabilitása és (3) a termés összefüggése a helyi környezettel.

Hatalmas lehetőség van a tartamkísérletekben, hogy hozzájáruljanak a termésstabilitás alaposabb megértéséhez. A szántóföldi tartamkísérleteket úgy definiáljuk, mint nagyméretű, általában több mint 20 éves szántóföldi kísérletek, melyekben tanulmányozzuk a növénytermesztési eljárások fenntarthatóságát, a tápanyag ciklusokat és a növénytermesztés környezeti hatásait (*Barnett et al.* 1995, *Rasmussen et al.* 1998). Tipikusan, a kezeléseket a tartamkísérletekben konstansnak tartjuk egy adott parcellán, hosszabb időn keresztül, minthogy a kumulatív hatások és folyamatok több év után válnak nyilvánvalóvá és lesznek tanulmányozhatók és elkülöníthetők az időjárási hatásoktól és klímátrendektől (*Cochran* 1939).

A tartamkísérletek fontosságát az agrotechnika (menedzsment) fenntarthatóságának és a klímaváltozás mezőgazdasági hatásainak tanulmányozásában már régóta felismerték és a tartamkísérleteket világszerte használják az agronómiában és az ökológiában (*Berzsenyi* 2015). Míg a tartamkísérletek ideálisak az időbeni variáció kvantifikálására, a termésstabilitás becslésére csak az utóbbi időben használják szélesebb körben. Több száz tartamkísérlet áll rendelkezésre világviszonylatban, *Debreczeni* és *Körschens* (2003) több mint 600-ról számolt be. A legrégebbi hazai tartamkísérletek (pl. Martonvásáron, Keszthelyen, az MTA TAKI kísérleti helyein) napjainkban már 60 évesek, az újabbak (pl. Debrecenben) 30 évesek (*Berzsenyi* 2009, *Kismányoky* 2009, *Nagy* 2009, *Pepó* 2009, *Sárvári* és *Boros* 2009). Ezt a hatalmas adatforrást még hatékonyabban kellene hasznosítani a jövőben.

Számos dolgozat foglalkozik a termésstabilitással és a genotípus×környezet interakcióval (pl. *Lin et al.* 1986, *Crossa* 1990, *Kang* 1993, *Kang* és *Magari* 1995, *Piepho* 1998, *Reckling et al.* 2021). *Kang* és *Gauch* (1996),

Yan és *Kang* (2003) szerkesztésében megjelent tudományos könyvek összefoglalják az újabb fejlődést ezen a területen. Hangsúlyozni kívánjuk, hogy a fajták stabilitásának összehasonlítási módszerei felhasználhatók a különböző agronómiai kezelések (továbbiakban termesztési rendszerek) összehasonlítására, mint amilyenek pl. a különböző műtrágya szintek, növényszámok, vetésforgók.

Az a gondolat, hogy a stabilitásanalízis módszereit a termesztési rendszerekre alkalmazzuk, nem új keletű (pl. *Mead et al.* 1986, *Guertal et al.* 1994). *Hildebrand* (1984) és *Raun et al.* (1993) felhasználták a stabilitásanalízist tartamkísérletben a trágyázási kezelések értékelésére. *Berzsenyi* és *Györfly* (1995, 1996, 1997ab), *Berzsenyi et al.* (2000) a stabilitásanalízis variancia és regresszió módszerével tanulmányozta a növénytermesztési tényezők, a vetésforgó és a trágyázás hatását a kukorica és a búza termésstabilitására tartamkísérletben. *Nagy et al.* (2003) a stabilitásanalízis regresszió módszerével vizsgálta a műtrágyázás és a talajművelés hatását a kukorica termésstabilitására. *Berzsenyi* és *Dang* (2008) a többváltozós AMMI módszerrel tanulmányozta tartamkísérletben a növénytermesztési tényezők hatását a kukorica termésstabilitására. *Yan et al.* (2007) javasolta a GGE biplot analízist az AMMI alternatívájaként. Az utóbbi évtizedben a nemzetközi vizsgálatokban újabb lendületet kapott a termésstabilitás kutatása a több környezetben végzett kísérletsorozatokban (MET) és a tartamkísérletekben (*Macholdt et al.* 2019, *Macholdt et al.* 2021). *Piepho* (1999) hangsúlyozta, hogy a legtöbb stabilitásmutató beágyazható a kevert (mixed) modell keretbe, ahol a környezetek a random faktorok és a genotípusok a fix faktorok. Javasolta a kevert modellek használatát, melyet elősegítenek a könnyen hozzáférhető szoftverek. Újabban több tulajdonságot magában foglaló stabilitás indexet javasolnak az átlagos teljesítményre és a stabilitásra történő egyidejű szelekcióhoz (*Olivoto et al.* (2019).

A dolgozat célja, hogy (1) áttekintsük a termésstabilitás kutatásának jelentőségét a növénytermesztési tartamkísérletekben, (2) két tartamkísérlet adatainak analízisével bemutatni a termésstabilitás különböző mutatóit és alkalmazhatóságukat a növénytermesztésben és (3) javaslatokat megfogalmazni a stabilitásanalízis módszertani kérdéseiről a tartamkísérletekben.

A stabilitásanalízis mutatói

Piepho (1998) hangsúlyozta, hogy minden stabilitásmutató egy statisztikai modellen alapul. A stabilitás bármely mutatójának hasznossága függ attól, hogy az alapul szolgáló modell mennyire jól közelíti meg a valós adatokat. Ezen okból a stabilitásmutatókat úgy tekintjük, mint a modelleknek vagy függvényeknek a paramétereit. A stabilitás fogalma magában foglalja, hogy van egy véletlen, előre nem jelezhető elem a termesztési rendszer teljesítményében. Minél nagyobb ez a véletlen komponens, annál kisebb a rendszer stabilitása. A termés ingadozása egyik környezettől a másikig kvantifikálható a varianciával. A random variáción kívül van egy előre jelezhető elem is. A tartamkísérletekben ismert az átlagtermés hosszú időszak alapján. Az átlag (fix, azaz szisztematikus hatás) és a variancia (random elem) a két fő paraméter, amely leírja egy termesztési rendszer reakció mintázatát. Az, hogy a reakció melyik része tekinthető szisztematikusnak (fixnek) és melyik része randomnak, függ a kísérleti környezettől. A nemesítőnek az év és a termőhely hatások rendszerint random hatások. Ezzel szemben a termelőnek a termőhely hatás fix, míg az évenkénti eltérés nem előre jelezhető. A szisztematikus és random komponensek modellezése elvezet az átlag és a variancia modellezéséhez.

A stabilitás kvantifikálására, különböző diszciplínák (különösen a növénynemesítés, azonban az agronómia és az ökológia is) kifejlesztették a stabilitásmutatók széles körét. *Lin et al.* (1986) áttekintette a biológiai kutatásban gyakran használt kilenc stabilitásmutatót és négy fő kategóriába sorolta azokat, attól függően, hogy az átlagos genotípus hatástól való eltéréseken vagy a genotípus–környezet interakción alapulnak. Néhány mutató eltérés-négyzet-összeg (SS), mások regressziós koeficiensek vagy eltérések MS a regressziótól. A kilenc gyakran idézett stabilitás mutató a következő: (1) A genotípus varianciája különböző környezetben (s_i^2). (2) Variációs koeficiens (CV). (3) *Plaisted* és *Peterson* (1959) átlagos variancia komponense a páros GE interakcióra (θ_i). (4) *Plaisted* (1960) variancia komponense a GE interakcióra ($\theta_{(i)}$). (5) *Wricke* (1962) ökovariancia indexe (W). (6) *Shukla* (1972) stabilitás varianciája (σ^2). (7) *Finlay* és *Wilkinson* (1963) regressziós koeficiense (b). (8) *Perkins* és *Jinks* (1968) regressziós

koefficiense (β_i). (9) *Eberhart és Russell* (1966) eltérés a regressziótól paramétere (δ_i^2).

Lin et al. (1986) a stabilitásmutatók három eltérő parametrikus koncepcióját fogalmazta meg. A genotípus stabil, ha (1) a környezetek közötti varianciája kicsi; (2) a környezeti reakciója párhuzamos a kísérletbe bevont összes genotípus átlagos reakciójával; (3) a genotípus és a környezeti index közötti regresszió modell maradék közepes négyzetes eltérése kicsi. A szerzők rámutattak arra, hogy a genotípus reakciója a környezetre többváltozós, mégis a parametrikus eljárások megkísérelik átalakítani egyváltozós problémává egy stabilitás mutatón keresztül. Javasolták a többváltozós módszerek közül a klaszteranalízis használatát a genotípusok osztályozására.

A következőkben rövid áttekintést adunk a variancia és regresszió mutatókról, valamint a többváltozós AMMI analízisről. Alkalmazásukat tartamkísérleti adatok analízisével mutatjuk be.

Varianciaanalízis és varianciamutatók

A genotípus-környezet interakció széles körben elterjedt. Jelzi, hogy a genotípus eltérő módon válaszol, ha a környezeti feltételek változnak és fontos a nemesítőknél és a termelőknél egyaránt. A nemesítő tudni akarja, hogy az interakció milyen módon építhető be a szelekciós programba. Először az interakció arra szolgálhat, hogy leírja a genotípusokat. Például egy genotípus nagy ökovalenciával (alacsony W_i értékkel) stabilnak tekinthető. Ha az interakció nagyon nagy, jelezheti helyi fajta előállítását specifikus körülményekre. Sokkal gyakrabban, a nemesítő stabil fajtákat keres, melyeknek jó a teljesítménye minden környezetben.

A varianciaanalízis a klasszikus modell az összes termés variáció analízisére, amelyet a genotípus-környezet-ismétlés kombinációk tartalmaznak (*Fisher* 1925). A kéttényezős véletlen blokk elrendezésű kísérlet varianciaanalízisének lineáris modellje leírja az i -edik genotípus átlagos termését (Y_{ijk}) a j -edik környezetben és a k -edik ismétlésben:

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + GE_{ij} + e_{ijk} \quad (1)$$

ahol: μ a főátlag, G_i , E_j , GE_{ij} képviseli a genotípus, a környezet és a genotípus-környezet hatását; és e_{ik} az átlagos random hiba, összefüggésben az k -adik parcellával, amelyen az i -edik genotípus van beállítva a j -edik környezetben.

A varianciaanalízis fenti modelljében a megfigyeléseknek két forrása van: (a) genotípusok és környezetek additív fő hatásai és (b) nem-additív hatások a genotípus-környezet interakciónak tulajdoníthatóan. A nem-additív interakció magában foglalja, hogy az i -edik genotípus termése (Y_{ij}) a j -edik környezetben függ nemcsak a G és E szintjeitől külön-külön, hanem a G és E szintjeinek adott kombinációjától is. Ebben a modellben a G és E szintek hatásainak összegei nullát adnak. Az e_{ik} független, normális eloszlású, nulla várható értékű valószínűségi változó. Nagyon fontos, hogy a maradéktagok függetlenek legyenek.

Genotípusok varianciája

Külön hiba variancia (s_i^2) számítható ki, mint a stabilitásmutatója mindegyik genotípusra:

$$s_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^q (Y_i - \bar{Y}_i)^2}{q-1} \quad (2)$$

ahol j (1, ..., q) a környezetet jelöli. Többen előnyben részesítik a variancia négyzetgyökének standardizálását az átlaggal, amely a variációs koefficiens (CV_{*i*}) eredményezi:

$$CV_i = \frac{s_i}{\bar{Y}_i} \times 100 \quad (3)$$

Ökovalencia

Az „ökovalencia” megnevezést *Wricke* (1962) vezette be. A mutató csak az interakció hatásokat foglalja magában. Az eltérésnégyzet-összeg ily módon történő felbontását egymástól függetlenül *Wricke* (1962) és *Calinsky* (1961) javasolta.

Wricke (1962) úgy definiálta az ökovalenciát, mint mindegyik genotípus hozzájárulását a genotípus-környezet eltérésnégyzet-összeghez. Az ökovalencia (W_i) vagyis az i -edik genotípus stabilitása, kifejezi az interakcióját a környezettel, négyzetre emelve és összegezve a környezeteken keresztül:

$$W_i = [\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_{i.} - \bar{Y}_{.j} + \bar{Y}_{..}]^2 \quad (4)$$

ahol: \bar{Y}_{ij} az i-edik genotípus átlagos teljesítménye a j-edik környezetben és $\bar{Y}_{i.}$ és $\bar{Y}_{.j}$ a genotípus és a környezet átlagos eltérése, és $\bar{Y}_{..}$ a főátlag. Ennek megfelelően, az alacsony ökovalencia mutatóval rendelkező genotípusoknak kisebb az ingadozásuk az átlag körül a különböző környezetekben és ezáltal stabilabbak. A kis W_i értékek magas ökovalenciát jeleznek.

Shukla (1972) javasolt egy mutatót, melyet stabilitás varianciának nevezett el. A stabilitás variancia az ökovalenciától csak egy lineáris transzformációban különbözik és ezáltal pontosan ugyanolyan genotípus sorrendhez vezet (*Weber et al.* 1996). A szakirodalomban ezek az összefüggések nem mindig feltártak, és az ökovalenciát és a stabilitás varianciát egymás mellett mutatják be, jóllehet a második mutató nem tartalmaz új információt. Rá kell mutatni arra is, hogy az ökovalencia erősen függ a vizsgálatba vont környezetektől. Másrészt az s^2 variancia és a W_i ökovalencia a genotípusok eltérő rangsorához vezethet.

Lineáris regresszió analízis és regresszió mutatók

Egy másik fontos modell a kísérleti adatok nem-additív struktúrájának (interakció) analízisére és értelmezésére a lineáris regresszió. Ezt a módszert széleskörűen használják a genetikában, a növénynemesítésben és az agronómiában a különböző genotípusok vagy agronómiai kezelések termésstabilitásának meghatározására.

A genotípus-környezet interakciót felosztják egy komponensre az i-edik genotípus és a környezeti átlag közötti lineáris regressziónak (b_i) tulajdoníthatóan és az eltérésre (d_i):

$$(GE)_{ij} = b_i E_j + d_{ij} \quad (5)$$

és

$$Y_{ijk} = \mu + G_i + E_j + (b_i E_j + d_{ij}) + e_{ijk} \quad (6)$$

Ezzel a módszerrel a regressziós koefficiensek átlaga pontosan egy. Ez a modell felhasználja a környezetek átlagát, mint független változókat a regresszió analízisben és az interakciót egy szorzatos formává korlátozza. A

regressziós megközelítést *Yates* és *Cochran* (1938) javasolta. Újból felfedezte *Finlay* és *Wilkinson* (1963). *Eberhart* és *Russell* (1966) kiterjesztette a megközelítést és beépítette a regressziótól való eltérésnégyzet-összegeket ($\sum d_{ij}^2$) a genotípusok jellemzésére.

A genotípusok teljesítménye különböző környezetekben vagy más néven a genotípus stabilitása kifejezhető három empirikus paraméterrel: az átlagos teljesítmény, a regressziós egyenes meredeksége és a regressziótól eltérés négyzetösszege. Ha a genotípus-környezet interakció eltérésnégyzet-összegének (SS) nagy százaléka értelmezhető a regresszió heterogenitásával, akkor a regressziós módszer képes hatékonyan leírni az adaptáció mintázatát a genotípusok reakciójában. Többen azonban arról számoltak be, hogy a genotípus-környezet eltérésnégyzet-összegnek nagyon kis hányada (9-16%) tulajdonítható a lineáris regresszióknak (pl. *Kang* és *Gauch* 1996). A regresszió analízisnek számos statisztikai és biológiai korlátjára mutattak rá (pl. *Crossa* 1990).

Eberhart és Russell modell

E modell alapján az első stabilitás paraméter a regressziós koefficiens, melyet a szokásos módon becsülünk. A regressziótól való eltéréseket (δ_{ij}) négyzetre emeljük és összegezzük, hogy megkapjunk egy másik stabilitás paramétert (s_{di}^2), melyet úgy értelmezzünk, mint a regressziós egyenlethez való eltérés varianciáját: $\text{Var}(\delta_{ij}) = s_{di}^2$. Ez a modell tehát minden fajta genotípus-környezet interakcióját két részre bontja: (1) variáció a fajta változó környezeti indexre adott reakciójának tulajdoníthatóan (regresszió eltérésnégyzet-összeg) és (2) nem értelmezett eltérés a regressziótól a környezeti indexre.

Eberhart és *Russell* (1966) iowai kukoricakísérletei alapján kimutatta, hogy azok a hibridek, amelyeknek regressziós koefficiense kisebb, mint 1 ($b < 1,0$), rendszerint a főátlag alatti átlagterméssel (\bar{x}) rendelkeznek. A nemesítő rendszerint olyan fajtát akar, melynek átlag feletti a termése minden környezetben. Tehát olyan fajtát kíván nemesíteni, melynek magas az átlaga (\bar{x}), egységnyi a regressziós koefficiense ($b = 1,0$) és a regressziótól való eltérés a lehető legkisebb ($s_{di}^2 = 0$). Tehát a stabil fajta definíciója: $b = 1$ és $s_{di}^2 = 0$. *Eberhart* és *Russell* (1966) fenti megállapítását többen kiegészítették (*Lin et al.* 1986, *Piepho* 1998).

AMMI modell

Az additív fő hatások és szorzatos interakció (AMMI) módszer integrálja a varianciaanalízist és a főkomponens analízist. Felhasználható a kísérletsorozatok és a tartamkísérletek analízisére egyaránt (Crossa 1990, Kang és Gauch 1996). Az AMMI analízis először illeszti a genotípusok és a környezetek fő hatásait a szokásos varianciaanalízissel és azután leírja a nem-additív részt, a genotípus-környezet interakciót a főkomponens analízissel. Az AMMI modell a következő (Kang és Gauch 1996):

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum_n \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + \rho_{ge} + \varepsilon_{ger} \quad (7)$$

ahol Y_{ger} a g genotípus megfigyelt termése e környezetben és r ismétlésben. Az additív paraméterek: μ a főátlag, α_g a g genotípus eltérése a főátlagtól, β_e az e környezet eltérése. A szorzatos paraméterek: λ_n szinguláris érték az n interakció főkomponens (PCA) tengelyre, γ_{gn} genotípus sajátvektor az n tengelyre és δ_{en} a környezet sajátvektor. Végül ρ_{ge} a maradék és ε_{ger} a hiba tag, ha a kísérlet ismétléses.

Fontos eldönteni, hogy főkomponens analízis a négyzetek összegeinek és szorzatainak szimmetrikus mátrixán (Q technika) vagy a variancia és kovariancia mátrixon vagy a korrelációs mátrixon (R technika) alapuljon. Az első kettő lényegében ugyanazt az analízist eredményezi (közös $\sqrt{(n-1)}$ skálázást használunk a változókra, hogy átalakítsuk az eltérésnégyzet összegből varianciává). A korrelációs mátrix standardizál minden változót (kivonva az átlagát és osztva a szórásával). Ez nagyon hasznos, ha az adatmátrix olyan változókból áll, melyek nem összehasonlítható skálán fejezhetők ki (mint a burgonya tömege, a növénymagasság és a levelek száma) és nagyon eltérő a variációjuk.

Nagyszámú tanulmányban kimutatták, hogy az AMMI elősegítette a genotípusok, a környezetek és interakciójuk megértését (pl. Crossa *et al.* 1990). Az első főkomponens az a tengely, amely maximalizálja a varianciát a genotípusok között. A második főkomponens merőleges az elsőre és maximalizálja a maradék varianciát. Amikor az adatokra az AMMI a legjobb előrejelzési modell, a genotípus és környezet interakció PCA1 és az átlagos hatásai (pl. termésátlag) grafikus ábrázolása hasznos a genotípus reakció

mintázatának feltárásában eltérő környezetben. A genotípusok és a környezetek ábrázolását az első két főkomponens tengely mentén hívjuk biplotnak. A biplot segít megjeleníteni a reakció általános mintázatát, valamint a specifikus interakciókat a genotípusok és a környezetek között. *Kang* és *Gauch* (1996) hangsúlyozta az AMMI felhasználhatóságát előrejelzési célból.

Példák a stabilitásanalízis alkalmazására tartamkísérletekben

Kukoricaszáras tartamkísérlet

Zavaró hatások, melyek tipikusan megjelennek a tartamkísérletek adatsorozatában, többnyire kísérleti módosítások (pl. az agronómiai menedzsmentben) az idő folyamán. A következő példával arra kívánunk rámutatni, hogyan lehet a zavaró faktorokat bevonni a statisztikai analízisbe.

Györfly Béla ún. „kukoricaszáras” tartamkísérletében (*Györfly* 1979), Martonvásáron vizsgáltuk a kukoricaszár és a N-műtrágya hatását a kukorica termésére és termésstabilitására (*Berzsenyi et al.* 2005). A latinnégyzet elrendezésű kísérlet hat kezelését a kukoricaszár és az N-műtrágya eltérő mennyiségei képezik, a kontroll parcellával. A kísérletben 1961 és 1984 között alacsonyabb tápanyag dózisok voltak beállítva, azonban ezt követően a tápanyagszint háromszorosára nőtt (*1. táblázat*). Ez a struktúra lehetővé teszi egy adatsorozat képzését, összehasonlítva az alacsony N műtrágya dózist 1984-ig és a magas dózisú N műtrágyázást 1985-től. A menedzsment e két szintjének (extenzív és intenzív megnevezéssel) hatását vizsgáltuk a kukorica termésére és termésstabilitás variancia mutatóira 1961 és 2009 között.

A kísérletet lineáris kevert modellel (LMM) és Finlay és Wilkinson modellel értékeltük a kísérlet vizsgált időszakára (1. modell) és a menedzsment két szintjére külön-külön (2. modell). A kísérleti kezelések hatását a kukorica termésére és stabilitásmutatóira a vizsgált 49 évben és a menedzsment eltérő szintjein (24 vs. 25 év átlagában) a *2. táblázat* tartalmazza.

1. táblázat. A kukoricaszáras tartamkísérlet kezelései

Kezelés (1)	Extenzív menedzsment (2) (1961–1984)	Intenzív menedzsment (3) (1985–2009)
1.	5 t/ha kukoricaszár (4)	7,5 t/ha kukoricaszár (4)
2.	5 t/ha kukoricaszár+50 kg/ha N (4)	7,5 t/ha kukoricaszár+150 kg/ha N (4)
3.	5 t/ha kukoricaszár+100 kg/ha N (4)	7,5 t/ha kukoricaszár+300 kg/ha N (4)
4.	Kontroll (5)	Kontroll (5)
5.	50 kg/ha N	150 kg/ha N
6.	100 kg/ha N	300 kg/ha N

Table 1. Treatments of the maize stalk long-term experiment. (1) Treatment, (2) Extensive management, (3) Intensive management, (4) Maize stalks, (5) Control

Legkisebb a kukorica termése a kezeletlen kontrollban (4. kezelés) és a kukoricaszár műtrágya nélküli kijuttatásakor (1. kezelés). Ezekben a kezelésekből a menedzsmentnek nem volt hatása a termésre. A 2. és a 3., illetve az 5. és 6. kezelésben az intenzívebb menedzsment hatására szignifikánsan nagyobb volt a termés. Extenzív menedzsmentnél a 2. vs. 5. és a 3. vs. 6. kezelések termése között nem volt szignifikáns különbség, vagyis a kukoricaszárnak nem volt termésmenővelő hatása a N alacsonyabb vagy magasabb szintjén sem. Az N-műtrágyaszintek összehasonlításakor (2. vs. 3., 5. vs. 6. kezelés) a magasabb dózisinál, továbbá a kukoricaszár és N műtrágya kombináció magasabb N-dózisinál (2. vs. 3. kezelés) szignifikánsan nagyobb volt a termés. A kezelések átlagában az intenzív menedzsmentben részesült parcellák termése szignifikánsan nagyobb volt, mint az extenzív menedzsmentben (6,163 t/ha vs. 4,901 t/ha, $SzD_{5\%}=0,723$).

A termésstabilitás mutatók közül az ökovalencia (W_i) a kezelések azonos rangsorát mutatta a menedzsment mindkét szintjén (2. táblázat). A kisebb ökovalencia érték nagyobb stabilitást jelent. Legkisebb volt a stabilitása (legnagyobb volt a W_i értéke) az 1. és 4. kezelésnek (kukoricaszár önmagában és kezeletlen kontroll). Alacsonyabb N dózisinál (kukoricaszárral vagy anélkül) kisebb a W_i értéke, mint magasabb dózisinál (2. vs. 5. és 3. vs. 6. kezelés). Különbség van a W_i értékek között az extenzív és intenzív menedzsment összehasonlításakor, az ökovalencia mutató nagyobb az intenzív menedzsmentben.

2. táblázat. *A termés és a termésstabilitás mutatói a kukoricaszáras tartamkísérletben (1961–2009)*

Termés és stabilitás mutató (1)	Kezelés (2)					
	1	2	3	4	5	6
	1. modell (3)					
Kukoricatermés (t/ha)(4)	3,744	6,138	6,703	3,515	6,384	6,706
Ökovalencia (W)(5)	46,44	7,72	21,04	62,93	22,92	28,77
Variációs koefficiens (CV%)(6)	30,12	17,30	12,59	34,40	15,25	14,30
	2. modell (7)					
Kukoricatermés (t/ha) (4)						
- Extenzív menedzsment (8)	3,552	5,258	6,000	3,502	5,254	5,838
- Intenzív menedzsment (9)	3,916	7,018	7,426	3,528	7,515	7,577
Ökovalencia (W)(5)						
- Extenzív menedzsment (8)	12,86	1,19	10,96	19,06	2,00	11,02
- Intenzív menedzsment (9)	23,70	3,51	9,76	25,12	8,71	14,97
Variációs koefficiens (CV%)(6)						
- Extenzív menedzsment (8)	29,28	15,42	12,62	31,08	11,99	14,26
- Intenzív menedzsment (9)	29,03	17,94	12,94	33,10	15,56	14,80

Megjegyzés: két kezelés közötti különbség szórása a termésre: 1. modell: 0,0881, 2. modell: extenzív menedzsment: 0,1137, intenzív menedzsment: 0,1338.

Table 2. Yield and variance measures of yield stability in the maize stalk long-term experiment (1961–2009). (1) Yield and yield stability indices, (2) Treatments, (3) 1. Model, (4) Maize yield (t ha⁻¹), (5) Ecovalence (W), (6) Coefficient of Variation (CV%), (7) 2. Model, (8) Extensive management, (9) Intensive management, Note: standard errors of differences of means (s.e.d.) for yield: 1. model: 0.081, 2. model: extensive management: 0.1137, intensive management: 0.1338.

A variációs koefficiens (CV%) értéke legnagyobb volt az 1. és 4. kezelésben (kukoricaszár önmagában és kezeletlen kontroll). A többi 4 kezelésben a CV% kisebb volt, az értékek menedzsmenten belül kevésbé különböztek kezelésként, azonban az intenzív menedzsmentnél a mutató értékei nagyobbak voltak.

Komplex I. tartamkísérlet

A stabilitásanalízis regressziós módszerének és a többváltozós AMMI modellnek az alkalmazására Győrffy Béla "Komplex I." nevű tartamkísérletéből mutatunk be adatokat, felhasználva korábbi közleményeinket (Győrffy 1969, Berzsényi és Győrffy 1995, Berzsényi és Dang 2008). 1960-ban Martonvásáron, a kutatóintézet kísérleti területén beállított tartamkísérlet 42 évének (1960-2001) adatait vontuk be a vizsgálatba. A négy ismétlésben, véletlen blokk elrendezésben beállított kukorica monokultúra tartamkísérletben öt növénytermesztési tényező hatását hét kezeléskombinációban vizsgáltuk a kukorica termésére. A növénytermesztési tényezők a következők: talajművelés, trágyázás, növényszám, fajta és növényápolás. Minden tényezőnek két szintje van, egy minimális (jelölése: 0) és egy optimális (jelölése: 1). Az 1. kezelésben minden tényező minimális, a 2. kezelésben minden tényező optimális szinten van. A 3-7. kezelésben úgy alakítottuk ki a kezeléskombinációkat, hogy egy növénytermesztési tényezőt minimális szinten hagytunk, a többit pedig optimális szinten. Így a 3. kezelésben a talajművelés, a 4. kezelésben a trágyázás, az 5. kezelésben a növényszám, a 6. kezelésben a fajta és a 7. kezelésben a növényápolás van minimumban (3. táblázat).

3. táblázat. A „komplex I” tartamkísérlet kezelése

Kezelések	Talajművelés	Trágyázás	Növényszám	Fajta	Ápolás
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	0	0	0	0	0
2	1	1	1	1	1
3	0	1	1	1	1
4	1	0	1	1	1
5	1	1	0	1	1
6	1	1	1	0	1
7	1	1	1	1	0

Megjegyzés: 0: minimális (kedvezőtlen) szint, 1: optimális (kedvező) szint.

Table 3. Treatments applied in the „Komplex I” long-term experiment. (1) Treatments, (2) Tillage, (3) Fertilisation, (4) Plant density, (5) Variety, (6) Plant husbandery (weed control), Note: 0: minimum (unfavourable) level, 1: optimum (favourable) level.

A varianciaanalízis alapján az összes eltérésnégyzet-összezből (SS) a kezelés, környezet (év) és a kezelés×környezet interakció aránya sorrendben a következő volt: 59,3; 24,5 és 11,6% (maradék: 4.6%). A varianciaanalízis minden kezelés termése között 0,1%-os szinten szignifikáns különbséget mutatott ki (4. táblázat). Minden tényező minimális, illetve optimális szintjének összehasonlításakor legnagyobb a különbség az átlagos termésreakcióban (2,09 és 8,59 t/ha). Egy-egy termesztési tényező minimális szintjének hatását vizsgálva (a többi optimuma esetén) megállapítható, hogy a talajművelés mélységének hatása kismértékű (átlagos reakció: 8,32 t/ha). Megállapítható továbbá, hogy amikor a trágyázás, illetve a fajta (genotípus) a minimumban levő tényező, a termés csökkenés – az optimális kombinációhoz viszonyítva – jelentős, >3 t/ha (átlagos termésreakció: 5,21; illetve 4,98 t/ha). A növényszám, illetve a növényápolás (gyomszabályozás) minimális szintjénél a termés csökkenés 2,2; illetve 1,6 t/ha (átlagos reakció: 6,36 és 7,01 t/ha).

4. táblázat. A kukoricatermés (t/ha) és a stabilitásanalízis mutatói a „Komplex I” tartamkísérletben (1960–2001)

Mutatók (1)	Kezelések (2)						
	1	2	3	4	5	6	7
Termés (3)	2,094a	8,585g	8,315f	5,205c	6,355d	4,979b	7,014e
Meredekség (4)	0,501	1,145	1,236	0,859	1,020	0,581	1,659
Szórás (5)	(0,06)	(0,061)	(0,056)	(0,134)	(0,069)	(0,096)	(0,128)
Eltérés a regressziótól (6)	0,270	0,280	0,230	1,334	0,357	0,691	1,226
R ² %	62,5	89,5	92,3	49,6	84,1	46,4	80,3
ASV (7)	1,880	0,573	0,893	3,090	0,389	3,090	5,084

Megjegyzés: különböző betűk jelzik a statisztikailag szignifikáns különbségeket p<0,05 szinten.

Table 4. Maize yield and yield stability indices in the „Komplex I” long-term experiment (1960–2001). (1) Indices, (2) Treatments, (3) Yield, (4) Slope, (5) Standard error of the slope, (6) Deviation from regression, (7) AMMI stability value, Note: different letters indicate statistically significant differences at p<0.05.

A regresszió analízist *Finlay* és *Wilkinson* (1963) és *Eberhart* és *Russell* (1966) módszere alapján végeztük, a *Genstat 19* statisztikai programmal

(Payne 2017). A regresszió analízis eredményét az 1. ábra és a 4. táblázat mutatja. A lineáris függvényillesztés mindegyik kezelés esetében 0,1%-os szinten szignifikáns volt. Az R^2 értéke 46,4 és 92,3% között változott. Legkisebb volt az R^2 értéke azokban a kezeléskombinációkban, ahol a genotípus, a trágyázás, illetve mindegyik tényező minimumban volt. A regressziótól eltérés (d_i) azokban a kezelésekből volt a legnagyobb, ahol a trágyázás, növényápolás és a fajta volt minimumban. Legkisebb volt a talajművelés minimális szintjét magában foglaló 3. kezelésben. Az AMMI stabilitás mutató (ASV) jelentős különbségeket mutatott ki a kezelések stabilitása között. Legnagyobb volt a termésstabilitás az 5., 2. és 3. kezelésben és legkisebb a 7., 4., 6. és 1. kezelésben (4. táblázat).

1. ábra. A növénytermesztési tényezők termésstabilitása a Finlay és Wilkinson regressziós modell alapján a Komplex I tartamkísérletben (1960–2001)

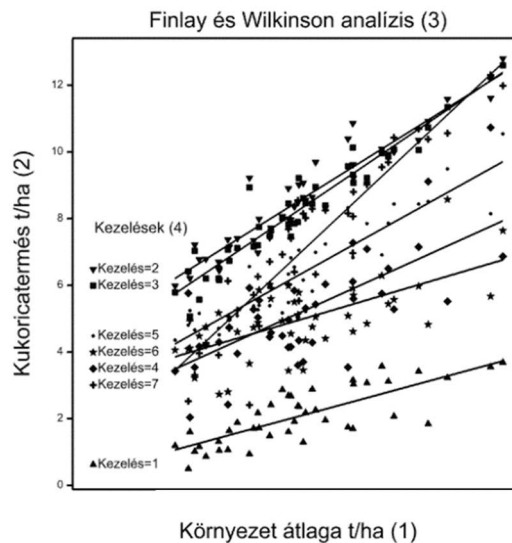


Figure 1. Yield stability of the crop production factors on the basis of Finlay and Wilkinson regression model in the „Komplex I” long-term experiment (1960–2001). (1) Environmental index, (2) Maize yield ($t\ ha^{-1}$), (3) Finlay and Wilkinson analysis, (4) Treatments=1–7

A regresszió analízis *Finlay* és *Wilkinson* módszere egyenesekkel összegezi az agronómiai kezelések termésreakciót a környezeti változásokra, melyek különböznek tengely metszetben és meredekségben egyaránt. A 2. *ábra* jól szemlélteti, hogy a vizsgált kezelések termése nő a környezeti átlag növekedésével. A kezelésenkénti meredekségek (b) 0,501 és 1,659 között változtak. A *Finlay* és *Wilkinson* modell 0,1%-os szinten szignifikáns különbségeket tárt fel a kezelések meredeksége között. A kezelések meredeksége közötti különbségek páronkénti vizsgálata kimutatta, hogy nem szignifikáns a különbség az 1. és 6. kezelés, a 2. kezelés és a 3., 4., 5. kezelés között, a 3. és a 4. kezelés között és végül a 4. és 5. kezelés között. A kezelések meredekségének többi páronkénti összehasonlítása 0,1%-os szinten szignifikánsan különbözött. A kísérlet körülményei között az 1,0–1,2 körüli meredekséggel rendelkező kezelések (2., 3. és 5. kezelés) tekinthetők a legstabilabbnak. A növényápolás (7. kezelés) 1,66-os értékű meredeksége jelzi, hogy ennek a kezelésnek alacsony a termése kedvezőtlen környezetben, másrészt jelentős előnye származik a környezet produktivitásának javulásából. A 0,5–0,8 körüli meredekséggel rendelkező kezelések (1., 4. és 6. kezelés) termésstabilitása nem megfelelő és termésszintjük is (különösen az 1. és 6. kezelés esetében) alacsony.

A Komplex I kísérlet 42 évének termésadatait az AMMI módszerrel analizáltuk (*Berzsenyi* és *Dang* 2008). Az első és második főkomponens (PCA1 és PCA2) az interakció eltérésnégyzet-összeg (SS) 71,4%-át értelmezte (a PCA1 47,3%-át). Az AMMI analízis eredményét a 2. *ábra* illusztrálja. Az X tengelyen a termésátlag, az Y tengelyen az első főkomponens változó szerinti értékek láthatók a 7 kezelésre és a 42 évre vonatkozóan. Azok a kezelések (G1-G7) és környezetek (E1-E42), melyek egy függőleges tengely mentén jelennek meg, hasonló termésátlaggal rendelkeznek, míg azok, amelyek egy horizontális tengely mentén találhatók, hasonló interakció mintázatot mutatnak. A kezeléseket (vagy környezeteket) nagy PCA1 értékkel (akár pozitív, akár negatív) nagy interakció jellemzi, míg a zero közeli PCA1 értékekkel rendelkezők kis interakciót mutatnak.

2. ábra. A 7 növénytermesztési faktor (G1-G7) és a 42 környezet (E1-E42) átlagtermésének és I. főkomponens értékének AMMI diagramja

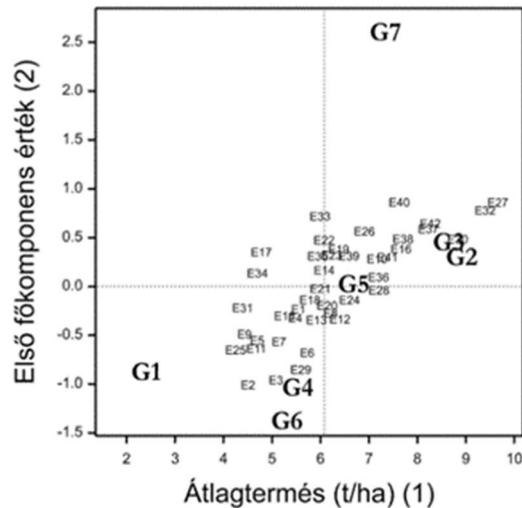


Figure 2. Plot of the mean yields and first principal component scores of the 7 crop production factors (G1-G7) in 42 environments (E1-E42). (1) Mean yields, (2) First principal component scores

Minél nagyobb a kezelés (környezet) hozzájárulása az interakcióhoz, annál kisebb a termésstabilitása. Látható, hogy a 7., 6., 4. és 1. kezelés (növényápolás, fajta, trágyázás, illetve minden tényező minimumban) járult hozzá legnagyobb mértékben az interakcióhoz, míg az 5., 2. és 3. kezeléseknek (minden tényező optimumban, illetve a talajművelés, növényszám minimumban) legnagyobb a termésstabilitása.

A 2. ábra bal alsó részében elhelyezkedő környezetek (évek) kedvezőtlenek (alacsony tenyészidőszak alatti csapadékkal), míg a jobb felső részben található környezetek (évek) kedvezőek (átlag feletti csapadékelátottsággal).

Néhány javaslat a tartamkísérletek stabilitásanalízisére

A tartamkísérletek adatainak minősége

A tartamkísérletek adatainak minősége nagymértékben változhat, az adathiánytól és a kísérlettervezés korlátaitól függően. Az adatminőség alapos

ellenőrzése fontos lépés a tényleges analízis megkezdése előtt. Adathiányok származhatnak egyes években betakarítási okoknak tulajdoníthatóan (például jégeső, vihar és növényi károsítók következtében). Más esetekben, az adatok nem állnak rendelkezésre (pl. technikai problémák miatt). Néhány régebbi kísérletet jellemzi a korlátozott kísérlettervezés, mint amilyen az ismétlések hiánya vagy nem megfelelő randomizáció vagy a randomizáció hiánya. Stabilitásanalízisnél ezt figyelembe kell venni.

Az ismétléses kísérletekben, minden évben az ismétlések átlagait használhatjuk a kezelés \times év értékek kiszámításához. Az egyszerű átlagok azonban torzult becslésekhez vezethetnek, ha megfigyelések hiányoznak és nem lesznek korrektek a tartamkísérletekre jellemző sajátosságokra (pl. az időbeni autokorreláció). Ezekben az esetekben a kevert modellek használata javasolt a tartamkísérletek stabilitásanalízisekor. A legtöbb tartamkísérletben a variancia nem konstans az évek során, és a korrelációs struktúrákat és/vagy a variancia heterogenitást az évek között figyelembe kell venni a modellekben, hogy biztosítsuk a statisztikai pontosságot.

A tartamkísérletek esetében, amikor különböző hosszúságú vetésforgókat kell összehasonlítani és különböző parcellákat különböző években mértünk, a kevert modellek érvényes statisztikai megközelítést nyújtanak. A kevert modellek illeszthetők, hogy számításba vegyék a mintavételi struktúrát és megengedjék a heterogén hiba varianciákat a környezetek között (pl. *Payne* 2015).

Kiugró értékek kezelése

A kiugró érték úgy definiálható, mint egy megfigyelés (vagy megfigyelések sorozata), amely nem összeegyeztethető az adatsorozat többi értékével. Ha a kiugró értékeket nem megfelelő módon kezeljük, a téves értékelésnek komoly hatása lehet a termésstabilitás analízisére. Tartamkísérletekben a kiugró értékek kiterjednek az extrém nagy értékektől a rendkívül alacsony értékekig és egészen a termés hiányig. Két lehetséges magyarázata van a kiugró értékek bekövetkezésének: (1) a kiugró érték valamilyen hibának tulajdonítható a kísérleti munka során (pl. technikai hibák, téves címkézés, számjegyek felcserélése a termésmérésben), ezáltal a kiugró értékeket el kell távolítani az adatsorozatból; (2) a kiugró érték valós természetes érték (pl. vadkár vezetett a hiányos növényállományhoz vagy téli kifagyás következett

be). A javasolt első választás az, hogy a kiugró értékeket az adatsorozatban tartjuk, mivel értelmezhetőek (természetes kiugró érték). A második választás, hogy kizárjuk a kiugró értékeket (pl. módszertani és technikai okoknak tulajdoníthatók), amely azért is indokolt, mivel drámaian módosíthatják pl. a CV-t. Ez a hatás súlyosabbá válik, ha a kiugró érték kétszer vagy ötször nagyobb távolságra van az átlagtól, mint ami várható egy normális eloszlású adatsorozatban. A kiugró értékek azonosításához az ismétléses tartamkísérletekben, egy analízist végezhetünk minden évben, felhasználva egy modellt blokk és kezelés faktorokkal, hogy becsüljük a kezelés hatások maradék variációját.

Zavaró faktorok

Zavaró hatások, melyek tipikusan megjelennek a tartamkísérletek adatsorozataiban, többnyire kísérleti módosítások az idő folyamán, mint a genotípusok, kezelések, agronómiai menedzsment, vagy parcellaméret változások. Kezelés faktorok (mint megnövelt műtrágya szintek vagy új fajták bevezetése) adaptálását bizonyos idő után elkerülhetetlennek tekinthetjük a tartamkísérletekben. Ugyanis ezek a változtatások teszik lehetővé, hogy fenntartsuk az eredmények fontosságát és alkalmazhatóságát a jelenkori agronómiai gyakorlatban, jóllehet sértik a tartamkísérletek állandóságának alapelvét. Továbbá, a technikai megoldások változhattak a kísérleti periódus során, például a parcellaméret változott újabb kísérleti kezelés bevonásával (pl. split-plot kísérlet kialakítása). Tipikusan az ilyen változások ritkák, a tartamkísérletek korának növekedésével azonban a változások felhalmozódnak és bonyolulttá teszik az adatelemzést.

Egyik évről a másikra történő kísérleti változások figyelembevételéhez, mint a különböző N-műtrágya szintek (vagy fajták) használata, egy kategorikus P változó illeszthető a statisztikai modellbe az adott N műtrágyaszint vonatkozó időperiódusára. Állandóan változó kísérleti hatások (pl. a talaj állapotára vonatkozó), melyek nem tekinthetők faktoroknak a modellben, számba vehetők, mint kovariáns tagok. Ha több fajta volt természetve egyidejűleg a kísérletben, egy külön „fajta” faktort kellene beépíteni a modellbe. Ha a fajtákat gyakran és nem konstans módon cserélik, akkor bonyolult a fajta figyelembevétele a modellben.

Egy tartamkísérlet adatstruktúrájának illusztrálására egy zavaró faktorról, a műtrágya mennyiségében bekövetkezett változást mutatjuk be. Ha nem vesszük figyelembe a változást a menedzsmentben, egy termőhely analízisének modelljét a következőképpen írhatjuk fel (*Reckling et al.* 2021):

$$Y_{ikl} = \mu + Y_k + e_{ikl} \quad (8)$$

ahol Y_{ikl} az i -edik N -műtrágyaszint termése a k -edik évben és az l -edik ismétlésben, μ a főátlag, Y_k a k -edik év random hatása és e_{ikl} a random hiba. A random hatásokat úgy tekintjük, hogy normális eloszlásúak zéró átlaggal és σ_Y^2 és σ varianciával. Az N -műtrágyaszint változásának figyelembe vételéhez az N -műtrágyaszint fix hatását beépítjük a (8) modellbe. Továbbá, az N műtrágyaszint eltérő természetstabilitásának számbavételéhez a hiba varianciák kezelés specifikusak. Ebben az esetben a modell a következő:

$$Y_{ikl} = \mu + Y_k + P_i + e_{ikl} \quad (9)$$

ahol P_i az i -edik N -műtrágyaszint hatása és e_{ikl} random hiba az N -műtrágyaszintre specifikus σ^2 varianciával.

Ahhoz, hogy illusztráljuk a menedzsment változás hatását a termésre és a természetstabilitásra, az adatokat analizáljuk a (8) és (9) modellnek megfelelően, ahol a (9) modellben a fix P_i tag reprezentálja a műtrágya hatását. A következtetés a műtrágya átlagokra csak akkor érvényes, ha nincs genotípus \times műtrágya kölcsönhatás.

Problémát jelentenek a tartamkísérletek analízisében, hogy: (i) a potenciálisan zavaró faktorokat gyakran nem pontosan jegyzik fel az eredeti dokumentumokban, (ii) ezeket a faktorokat nem tárják fel világosan a publikációkban és (iii) nem megfelelően veszik számba a statisztikai modellben. Ilyen okból, fontos megvizsgálni minden potenciálisan zavaró faktort az adatanalízis megkezdése előtt.

A termésadatok hosszú távú trendjeinek számbavétele

A tartamkísérletek gyakran mutatnak határozott időbeni terméstrendeket. Ennek többnyire az oka az, hogy a hatások a növényekre és a talajokra

felhalmozódnak (akkumulálódnak) és idővel erősebbé válnak. A több évtizedes tartamkísérletekben, a termés időbeni trendje visszatükrözheti az időbeni menedzsment változásokat, melyek nem részei a kezelésnek (pl. változások a fajtákban, peszticidekben, eszközökben), függetlenül a fő kezeléshatásoktól (pl. talajművelés szántással vagy anélkül, szerves trágyázás vs. műtrágyázás). A terméstrendek a tartamkísérletekben lehetnek pozitívak (pl. a talajtermékenység növekedése) vagy negatívak (pl. a nem trágyázott kontrollban). Az ilyen trendek figyelmen kívül hagyása valószínűleg veszélyezteti a termésstabilitás méréseket. Általában, a trendek jelenléte az adatsorozatokban a stabilitás erős túlbecsléséhez vagy alulbecsléséhez vezethet, amikor olyan mutatókat használunk, melyek az adatok átlagán és szórásán alapulnak.

Egy megoldás az adatok rétegezése, vagyis az adatsorozat felbontása több al-sorozatra, és ezt követően az adatelemzés szűkítése ezekre az al-sorozatokra. A legegyszerűbb megközelítések a termésadatokban a trendek eltávolítására az adat-transzformációk, pl. relatív termések számítása a termések tartománya alapján egy adott évre, helyre, kísérleti blokkra és kezelésre vagy matematikai operátorok használata, mint amilyen a különbségszámítás. Különbség számításakor a korábbi megfigyelést kivonjuk a jelenlegi megfigyelésből. Ha ezek az eljárások nem megfelelőek, akkor az ún. „detrend” módszerek alkalmazhatók (*Reckling et al. 2021*).

Időbeni autokorreláció

Az egyik évben végzett agrotechnikai (menedzsment) eljárásoknak utóhatása lehet a termésre a következő évben és lehetséges, hogy néhány évvel később is. Egy tartamkísérletben, ismételt méréseket végzünk ugyanazon a parcellán minden évben. A sorozat korreláció azt jelenti, hogy egy mérés, pl. a termés a $t+1$ évben statisztikailag nem független az előző t évben végzett mérésektől. Ezt az időbeni autokorrelációt számításba kell venni, amikor becsüljük a parcella hiba tagot. Az időbeni autokorreláció figyelembe vehető a sorozat korrelációk számbavételével a lineáris kevert modellekben (*Piepho 1999, Onofri et al. 2016*).

A stabilitásmutatók függése az átlagtól

Egy tartamkísérlet adatsorozatában, kiszámítva a σ^2 -t és a μ átlagot, a variancia függhet az átlagtól szisztematikus módon. Kimutatták, hogy *Taylor* (1961) rovarpopulációkra kidolgozott törvénye, amely hatvány összefüggést ($\sigma^2 = a \cdot \mu^b$) állapított meg a variancia és az átlag között, érvényesül a természetadatokban is (*Döring et al.* 2015). Ha a törvény érvényesül, nincs semmilyen hiteles információ a stabilitásról az adatokban, amely már ne lenne meg az átlagokban. *Döring* és *Reckling* (2018) kimutatta, hogy a szignifikáns függés problémája akkor következik be, amikor μ változásának tág a tartománya. Ez gyakori eset a tartamkísérletekben, amikor például műtrágyázott és nem műtrágyázott kontroll egyaránt be van vonva a kezelések sorába vagy amikor növényfajokat hasonlítunk össze. Viszonylag egyszerű megoldás a Taylor törvény érvényesülésének ellenőrzésére az adatok posterior (utólagos) analízise. Ez elvégezhető a fő stabilitásanalízis után, ábrázoljuk a $\log(\sigma^2)$ -et a $\log(\mu)$ -tól függően és statisztikailag teszteljük a lineáris függőséget e két változó között. Ezt a tesztet viszonylag könnyű elvégezni és előnye, hogy láthatóvá teszi a függőséget. A posterior megközelítés azonban nem oldja meg a problémát, csupán leírja azt. Jelenleg nincs általánosan elfogadott vagy általánosan alkalmazható eljárás a probléma kezelésére a stabilitásanalízisben (*Reckling et al.* 2021).

Stabilitás mutatók kiválasztása

Figyelembe véve a stabilitásmutatók nagy számát (>40 mutató), melyeket javasoltak az évek során (*Hussein et al.* 2000, *Reckling et al.* 2021), fontos az informált döntések meghozatala arról, hogy melyik mutatót válasszuk ki egy adott tartamkísérlet stabilitásának értékeléséhez. Ennek oka az, hogy (a) nem minden stabilitásmutató alkalmas egyformán tartamkísérletekre; (b) néhány mutató matematikailag egyenértékű másokkal, és (c) a mutatók a stabilitás különböző koncepcióit képviselik. Néhány mutató teljesen korrelál és csupán a várható értékek tekintetében különböznek. Például az ökovalencia (*Wricke* 1962) és a stabilitásvariancia (*Shukla* (1972) vagy *Finlay* és *Wilkinson* (1963) vagy *Tai* (1971) regressziós koefficiense. Más mutatók erősen korrelálnak, mint az ökovalencia és *Eberhart* és *Russell* (1960) regressziótól eltérés négyzetösszege, mint azt sok kísérletben kimutatták (pl. *Kang* és *Gauch* 1996).

Sok stabilitás mutatót fejlesztettek ki a növénynemesítésben és a fajtaértékelésben, ahol nagyszámú genotípust tesztelnek sok környezetben. A tartamkísérletek kezeléseit azonban, melyek megfelelnek a genotípusoknak, lehet, hogy nem nagyszámúak. Valóban, néhány tartamkísérlet csupán négy különböző kezelést tartalmaz. Ez kérdéssé válik azoknál a mutatóknál, melyeknél egy kezelés stabilitása függ a többi kezelés termésétől, pl. ez az eset a *Finlay* és *Wilkinson* „b” regressziós paraméterénél, azonban más dinamikus stabilitás mutatóknál is, és néhány variancia alapú mutatónál, pl. *Shukla* stabilitás indexénél.

Amikor lehetséges, egynél több stabilitásmutatót számítsunk ki, és a különbségeket világossá kell tenni. Ha többféle mutatót származtatunk az adatokból, jó gyakorlat lefuttatni egy korrelációs számítást közöttük (*Cheshkova et al.* 2020) vagy egy többváltozós analízist (pl. a főkomponens analízist). A PCA ábra lehetővé teszi, hogy illusztráljuk a különböző stabilitásmutatók korrelációját. Ez módszer segít meghatározni, hogy mely mutatók hasonlóak egymáshoz.

Abból a célból, hogy képesek legyünk összehasonlítani kezeléseket stabilitásuk alapján, szükséges, hogy legyen néhány mérőszámunk a becslött értékek pontosságáról és néhány mérőszámunk annak vizsgálatára, hogy a becslések szignifikánsan különböznek-e a kezeléseik között. A legtöbb stabilitásanalízisben, egyszerűen a becslött értékeket közlik a pontosság bármilyen mérőszáma nélkül és nem vizsgálják meg, hogy a becslések szignifikánsan különböznek-e. A stabilitásanalízis módszertani kérdéseiről a tartamkísérletekben részletes útmutatást nyújt *Piepho* (1998) és *Reckling et al.* (2021), példákkal illusztrálva a lehetséges megoldásokat.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a GINOP-2.3.4-15-2016-00005 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOM

Barnett, V.-Payne, R.-Steiner, R.: 1995. Agricultural sustainability. Economic, environmental and statistical considerations. J. Willey and Sons.

- Berzsenyi Z.*: 2009. Az ötven éves martonvásári tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. [In: Berzsenyi Z.-Árendás T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 37-49.
- Berzsenyi Z.*: 2015. Növénytermesztési kísérletek tervezése és értékelése. Agroiinform Kiadó. Budapest.
- Berzsenyi, Z.-Dang, Q. L.*: 2008. Effect of various crop production factors on the yield and yield stability of maize in a long-term experiment. Cereal Res. Commun. 36. 1: 167-176.
- Berzsenyi Z.-Gyórfy B.*: 1995. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. Növénytermelés. 44. 5-6: 507-517.
- Berzsenyi Z.-Gyórfy B.*: 1996. A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 45. 3: 281-296.
- Berzsenyi Z.-Gyórfy B.*: 1997a. A vetésforgó és a trágyázás hatása a búza termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 46. 2: 145-161.
- Berzsenyi Z.-Gyórfy B.*: 1997b. Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és termésstabilitására monokultúra tartamkísérletben. Növénytermelés. 46: 509-527.
- Berzsenyi, Z.-Gyórfy, B. - Lap, D. Q.*: 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. Europ. J. Agronomy 13: 225-244.
- Berzsenyi Z.-Lap D. Q.-Micskei Gy.-Takács N.*: 2005. Kukoricaszár és N-műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és termésstabilitására monokultúra tartamkísérletben. Növénytermelés. 54. 5-6: 433-446.
- Calinski, T.*: 1961. On the application of analysis of variance to the results of series of varietal experiments. Thesis Pozman Agric. College.
- Chen, H.-Deng, A.-Zhang, W.-Li, W.-Qiao, Y.-Yang, T.-Zheng, C.-Cao, C.-Chen, F.*: 2018. Long-term inorganic plus organic fertilisation increase yield and yield stability of winter wheat. The Crop Journal. 6: 589-599.
- Cheshkova, A.-Stepochkin, P.-Grebennikova, I.-Ponomarenko, V.*: 2020. A comparison of statistical methods for assessing winter wheat grain yield stability. Vavilov. J. Genet. Breed. 24: 267-275.
- Cochran, W. G.*: 1939. Long-term agricultural experiments. Suppl. J. R. Stat. Soc. 6. 2: 104-140.
- Crossa, J.*: 1990. Statistical analyses of multilocation trials. Advances in Agronomy. 44: 55-85.
- Crossa, J.-Gauch, H. G.-Zobel, R. W.*: 1990. Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. Crop Sci. 30: 493-500.

- Debreczeni, K.–Körschens, M.*: 2003. Long-term field experiments of the world. Arch. Agron. Soil Sci. 49. 5: 465–483.
- Döring, T. F.–Knapp, S.–Cohen, J. E.*: 2015. Taylor's power law and the stability of crop yields. Field Crops Res. 183: 294–302.
- Döring, T. F.–Reckling, M.*: 2018. Detecting global trends of cereal yield stability by adjusting the coefficient of variation. Eur. J. Agron. 99: 30–36.
- Eberhart, S. A.–Russell, W. A.*: 1966. Stability parameters for comparing varieties. Crop Sci. 6. 1: 36–40.
- Finlay, K. W.–Wilkinson, G. N.*: 1963. The analysis of adaptation in a plant breeding programme. Aust. J. Agric. Res. 14: 742–754.
- Fisher, R. A.*: 1925. Statistical methods for research workers. Oliver and Boyd. Edinburgh. UK.
- Guertal, E. A.–Raun, W. R.–Westerman, R. L.–Boman, R. K.*: 1994. Applications of stability analysis for single-site, long-term experiments. Agron. J. 86: 1016–1019.
- Győrffy B.*: 1969. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére, Komplex I. [In: Bajai J. (szerk.) Kukoricatermesztési kísérletek 1968-1974.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 54–60.
- Győrffy B.*: 1979. A kukoricaszár trágyahatásának vizsgálata tartamkísérletben, 1958–1974. [In: Iső I. (szerk.) Kukoricatermesztési kísérletek 1965–1968.] Akadémiai Kiadó. Budapest. 243–249.
- Hildebrand, P. E.*: 1984. Modified stability analysis of farmer managed, on-farm trials. Agron. J. 76: 271–274.
- Hussein, M. A.–Bjornstad, A.–Aastveit, A. H.*: 2000. SASG × ESTAB: A SAS program for computing genotype × environment stability statistics. Agron. J. 92: 454–459.
- Kang, M. S.*: 1993. Simultaneous selection for yield and stability in crop performance trials: consequences for growers. Agronomy Journal. 85: 754–757.
- Kang, M. S.–Magari, R.*: 1995. STABLE: A basic program for calculating stability and yield-stability statistics. Agron. J. 87: 276–277.
- Kang, M. S.–Gauch, H. G. (eds.)*: 1996. Genotype-by-Environment Interaction. CRC Press. Boca Raton.
- Kismányoky T.*: 2009. A tartamkísérletek jelentősége a talajtermékenység kutatásában. [In: Berzsenyi, Z.–Árendás, T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 107–114.
- Lin, C. S.–Binns, M. R.–Letkovitch, L. P.*: 1986. Stability analysis: where do we stand? Crop Sci. 26. 5: 894–900.
- Macholdt, J.–Piepho, H. P.–Honermeier, B.*: 2019. Mineral NPK and manure fertilisation affecting the yield stability of winter wheat: results from a long-term experiment. Eur. J. Agron. 102: 14–22.

- Macholdt, J.-Hadasch, S.-Piepho, H. P.-Reckling, M.-Taghizadeh-Toosi, B.-Christensen, T.*: 2021. Yield variability trends of winter wheat and spring barley grown during 1932–2019 in the Askov long-term experiment. *Field Crops Research*. 264: 108083.
- Mead, R.-Riley, J.-Dear, K.-Sing, S. P.*: 1986. Stability comparisons of intercropping and monocropping systems. *Biometrics*. 42: 253–266.
- 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.-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.*: 2017. Klímaváltozás és a műtrágyázás hatása a kukorica termésére debreceni tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 66. 3: 11–32.
- Olivoto, T.-Lúcio, A. D. C.-da Silva, J. A. G.-Sari, B. G.-Diel, M. I.*: 2019. Mean performance and stability in multi-environment trials II: Selection based on multiple traits. *Agron. J.* 111: 2961–2969.
- Onofri, A.-Seddau, G.-Piepho, H. P.*: 2016. Long-term experiments with cropping systems: Case studies on data analysis. *Europ. J. Agronomy*. 77: 223–235.
- Payne, R. W.*: 2015. The design and analysis of long-term rotation experiments. *Agron. J.* 107. 2: 772–785.
- Payne, R. W.*: 2017. A guide to multivariate analysis in Genstat 19. VSN International. Hertfordshire. UK.
- Pepó P.*: 2009. Debreceni növénytermesztési tartamkísérletek. [In: Berzsényi, Z.-Árendás, T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 133–138.
- Perkins, J. M.-Jinks, J. L.*: 1968. Environmental and genotype-environmental components of variability. *Heredity*. 23. 3: 339–356.
- Piepho, H. P.*: 1998. Methods for Comparing the Yield Stability of Cropping Systems – A Review. *J. Agronomy and Crop Science*. 180: 193–213.
- Piepho, H. P.*: 1999. Stability analysis using the SAS system. *Agron. J.* 91: 154–160.
- Plaisted, R. L.-Peterson, L. C.*: 1959. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. *Am. Potato J.* 36. 11: 381–385.
- Plaisted, R. L.*: 1960. A shorter method for evaluating the ability of selections to yield consistently over locations. *Am. Potato J.* 37. 5: 166–172.
- Raun, W. R.-Barreto, H. J.-Westerman, R. L.*: 1993. Use of stability analysis for long-term soil fertility experiments. *Agron. J.* 85: 159–167.
- Rasmussen, P. E.-Goulding, K. W. T.-Brown, J. R.-Grace, P. R.-Janzen, H. H.-Körschens, M.*: 1998. Long-term ecosystem experiments: assessing agricultural sustainability and global change. *Science*. 282: 893–896.

- Reckling, M.-Ahrends, H.-Chen, T. W.-Eugster, W.-Hadasch, S.-Knapp, S.-Laidig, F.-Linstädter, A.-Macholdt, J.-Piepho, H. P.-Schiffers, K.-Döring, T. F.*: 2021. Methods of yield stability analysis in long-term field experiments. A review. *Agron. Sustain. Dev.* 41: 27.
- Sárvári M.-Boros B.*: 2009. A vetésváltás és az NPK tápanyagellátás hatása a kukorica termésére tartamkísérletben. [In: Berzsenyi, Z.-Árendás, T. (szerk.) Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében.] Jubileumi tudományos konferencia. Martonvásár. 139–145.
- Schrama, M.-de Han, J. J.-Kroonen, M.-Verstegen, H.-Van der Putten, W. H.*: 2018. Crop yield gap and stability in organic and conventional farming systems. *Agriculture, Ecosystem and Environment.* 256: 123–130.
- Shukla, G. K.*: 1972. Some statistical aspects of partitioning genotype-environmental components of variability. *Heredity.* 29: 237–245.
- Tai, G. C. C.*: 1971. Genotype stability analysis and its application to potato regional trials. *Crop Sci.* 11. 2: 184.
- Taylor, L. R.*: 1961. Aggregation, variance and the mean. *Nature (London).* 189: 732–735.
- Weber, W. E.-Wricke, G.-Westermann, T.*: 1996. Selection of genotypes and prediction of performance by analysing genotype-by-environment interactions. [In: Kang, M. S.-Gauch, H. G. (eds.) Genotype-by-environment interaction.] CRC Press. Boca Raton. 353–371.
- Weih, M.-Karley, A. J.-Newton, A. C.-Kiaer, L. P.-Scherber, Ch.-Rubiales, D.-Adam, E.-Ajal, J.-Brandmeirer, J.-Pappagallo, S.-Villegas-Fernandez, A.-Reckling, M.-Tavoletti, S.*: 2021. Grain yield stability of cereal-legume intercrops is greater than sole crops in more productive conditions. *Agriculture.* 11: 255.
- Wricke, G.*: 1962. Über eine Methode zur Erfassung der ökologischen Streubreite in Feldversuchen. *Z. Pflanzenzücht.* 47: 92–96.
- Yan, W.-Kang, M. S.*: 2003. GGE biplot analysis: A graphical tool for breeders, geneticists, and agronomists. CRC Press. Boca Raton.
- Yan, W.-Kang, M. S.-Ma, B.-Woods, S.-Cornelius, P. L.*: 2007. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype - by - Environment Data. *Crop Science.* 47: 643–655.
- Yates, F.-Cochran, W. G.*: 1938. The analysis of groups of experiments. *J. Agric. Sci.* 28: 556–580.

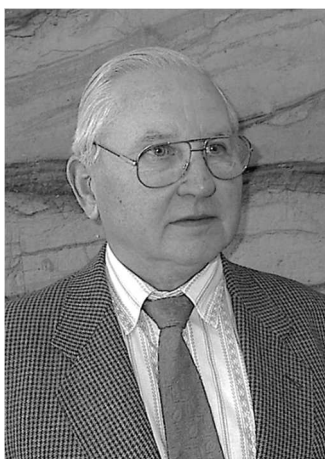
A szerző levelezési címe - Address of the author:

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

NEKROLÓG

Obituary

**Nyiri László professor emeritus
(1932–2021)**



Mély fájdalommal tudatjuk mindazokkal, akik ismerték, szerették, tisztelték, hogy Prof. dr. Nyiri László a mezőgazdasági tudomány doktora, professor emeritus 2021. november 27-én, életének 90. évében elhunyt.

Nyiri László 1932. november 23-án született Pestszentlőrincen. Egyetemi tanulmányait az Agrártudományi Egyetem Agronómiai Karán, Gödöllőn végezte. Egyetemi tanulmányai befejezésével Mosonmagyaróváron az Észak-Dunántúli Mezőgazdasági Kísérleti Intézetben kezdte kutatói pályáját 1957-ben. Ez a kutatóintézet meghatározó jelentőségű volt Nyiri László egész pályája során, itt ismerkedett meg a kísérletezés rejtelmeivel. Kezdetben

gyepjavítási és eróziós kutatásokkal foglalkozott, eredményeit az 1962-ben megvédett doktori disszertációjában foglalta össze.

A Kísérleti Intézetnek a Mezőgazdasági Akadémiával történt egyesítése után a Növénytermesztési Tanszéken lett egyetemi tanársegéd, majd 1954-től egyetemi adjunktus. Ekkor már önállóan oktatta a „Földműveléstan” c. tárgyat, az oktatás során már új, a saját elképzeléseire alapozott elveket és módszereket is megismertetett a hallgatókkal a talajművelés, az erózió, a talajjavítás és az öntözés témaköreiben. 1969-ben egy időre áthelyezték a Keszthelyi Agrártudományi Egyetem Agronómiai Főiskolai Karára, ahol főiskolai tanárként megszervezte és vezette a Földműveléstani-Talajtani-Kémiai Tanszéket.

A *„Talajjavítás, talajművelés komplex hatása barna erdőtalajokra”* című kandidátusi értekezését 1971-ben védte meg. A Karcagi Kutatóintézettel való kapcsolata az 1970-es évek elejére, az ország mezőgazdasági kutató és oktató intézményeit integráló „programozott kutatások” indulásának idejére datálódik. Kezdetben a *„Korszerű talajművelési rendszerek, módszerek, valamint a talajjavítási eljárások komplex kutatása”* c. kutatási programba kapcsolódott be, melynek később vezetője is lett. 1974-ben kínáltak fel neki tudományos főmunkatársi állást a Karcagi Talajművelési Kutatóintézetben, amit el is fogadott, így került Karcagra. 1975-től már a tudományos igazgatóhelyettesi feladatokat látta el az Intézetben, később 10 évig volt igazgató. A talajművelési kutatásokat irányító országos célprogram vezetőjeként felismerte, hogy a kémiai tulajdonságok javítása mellett – sokszor annál még nagyobb hangsúllyal – szükség van a fizikai, vízforgalmi tulajdonságok javítására is. Éppen ezért Karcagon is első teendői közé tartozott a talajfizikai laboratórium bővítése, alkalmassá tétele nagy térfogatú, eredeti szerkezetű talajoszlopok fizikai, vízforgalmi tulajdonságainak vizsgálatára.

A talajjavítási kutatásainak eredményei közvetlenül beépültek a MÉM NAK Trágyázási Útmutójába és az általa összeállított talajjavítási tanácsadó füzetekbe. Komplex szemlélete vezette akkor, amikor irányításával létrejött a karcagpusztai komplex meliorációs modelltelep, hazánk első síkvidéki komplex meliorációs modelltelepe, alapot adva az 1980-as években kibontakozó komplex meliorációs kutatómunkához. Ugyancsak a

vízgazdálkodás fontosságának felismerése inspirálta a karcagi liziméter állomás létrehozásakor.

Kutatómunkája tudományos értékét jelzi, hogy Nyiri László 1988-ban „*A talajjavítás fejlesztésének lehetőségei*” eredményét összefoglaló tézisekkel elnyerte a mezőgazdasági tudomány doktora tudományos fokozatot.

Tudományszervező tevékenységének eredményeként az 1990-es évek elején Karcagra került az „*Alföld Program Mezőgazdaságfejlesztési Projekt*” irányítása. A koordinációs munka eredményesen integrálta a mezőgazdaság valamennyi területét. Témavezetői tevékenységének eredményeként erősödött a Debreceni Agrártudományi Egyetem tanszékei és intézetei közötti együttműködés, ennek legfőbb oktatási eredményeként Nyiri László a földműveléstan tananyagfejlesztését, oktatását először a Ruzsányi László vezette Növénytermesztési Intézetben végezte, majd a Nagy János vezetésével megalakult Földhasznosítási, Műszaki és Területfejlesztési Intézet keretében folytatta. Mindig nagy figyelmet fordított arra, hogy a legújabb kutatási eredmények bekerüljenek az oktatott anyagba. Közel 20 éves vezetői tevékenységével megalapozta a kutatás mellett ízig-vérig elkötelezett kutatói-oktatói modellt. 1993-ban Nyiri László szerkesztésében jelent meg a „*Földműveléstan*” című tankönyv, amelyben gazdag kutatási és oktatói pályafutásának eredményeit szintetizálta. Ez a könyv ma is alapvető forrásműként szolgál a földműveléstan oktatásában és kutatásában.

Kutatóintézeti és tanszéki munkája mellett jelentős szerepet vállalt az országos tudományszervezésben is. Tagja volt az MTA Tudományos Minősítő Bizottságának, az MTA Növénytermesztési Bizottságának, valamint az MTA Talajtani, Agrokémiai és Mezőgazdasági Vízgazdálkodási Bizottságának 1996-ig. Alelnöke volt a DAB Mezőgazdasági Szakbizottságának, és elnöke az FM Talajtermékenységi és Földvédelmi K+F Kollégiumának. Kutató, oktató, tudományszervező munkájának elismeréseként számos kitüntetésben részesült: Környezetünk védelméért, fejlesztéséért díj, Szolnok megye Nagydíja, Pro Universitate díj, Pro Regione Alföld díj, Jász-Nagykun-Szolnok megyéért díj, a Magyar Köztársasági Érdemrend Tisztikeresztje, Vezekényi Ernő díj.

Munkatársai, tanítványai búcsúznak a Karcagi Kutatóintézet volt igazgatójától, a Debreceni Egyetem professor emeritusától, a földműveléstan oktatójától. Életpályája, szemlélete a ma nevelkedő tudósgeneráció számára

is követendő példaként szolgál, ugyanakkor történeti adalékot nyújt az utóbbi évtizedek mezőgazdasági kutatásának és oktatásának megismeréséhez is.

A Karcagi Kutatóintézet és a Debreceni Egyetem munkatársai emlékét megőrzik.

Blaskó Lajos – Zsembeli József

KÖNYVISMERTETÉS

Book review

Izsáki Zoltán: „A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei II. 1990–2010 – Szója, lóbab, őszi árpa, rostkender és csicsóka tápanyagellátása” (INFORM Kiadó & Nyomda, Budapest, 2021, 284 p.)



„A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei I. 1990–2010 – Kukorica, cukorrépa, zab, olajlen és silócirok tápanyagellátása” (Agroinform Kiadó és Nyomda Kft.) c. könyv 2015-ben jelent meg, melyről könyvismertetés Kádár Imre tollából jelent meg 2016-ban a Növénytermelés folyóiratban (65. 1: 107–109). Az első kötet logikai és szerkezeti felépítését követi a most kiadott második kötet is, mely a szója, lóbab, őszi árpa, rostkender és csicsóka trágyázásának kísérleti eredményeit foglalja össze. A könyvet Dr. Árendás Tamás és Dr. Csathó Péter lektorálták.

A könyv két kötetéhez az Előszót Dr. Kádár Imre és Dr. Csathó Péter írták, melyből csak a következőket emelem ki: „A trágyázási szaktanácsadás fejlesztésében alapvető tudományos háttérrel adnak a hazai műtrágyázási tartamkísérletek. A tartamkísérletek nemzeti értéket képviselnek az agrár- és környezetgazdálkodás számára. Az olvasó a klasszikus talajtermékenységi – agrokémiai – növénytáplálási kutatási eredmények igazi tárházára bukkanhat ebben a munkában.”

A szerző az 1. fejezetben ismerteti a tartamkísérlet célkitűzéseit, feladatait, talaj- és időjárási viszonyait, valamint a kísérlet trágyázási kezeléseit és azok elrendezését. A műtrágyázási tartamkísérletet három tényezővel (N-, P- és K-trágyázás), tényezőnként négy-négy N-, P- és K-szinten alakították ki, teljes kezelés kombinációban, azaz 64 kezeléssel, kétszeresen osztott parcellás elrendezésben, három ismétlésben. A kísérletet kiterített vetésforgóban, évente négy növénnyel, növényenként 192 kísérleti parcellán állították be. A kísérlet elrendezése és a kezeléskombinációk lehetővé tették a N-, P- és K-trágyázás főhatásainak és kölcsönhatásainak kimutatását, értékelését. A kiterített vetésforgó pedig alkalmat adott az évjárat hatások elemzésére egy-egy növény esetében. A kísérletben a talaj P- és K-ellátottságának tág intervallumát hozták létre az évenkénti és az időszakosan végzett feltöltő adagú P- és K-trágyázással. A talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ -, $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ - és $\text{AL-K}_2\text{O}$ -tartalmát évente, kezelésként vizsgálták. Így a növényenként vizsgált paraméterek (terméshozam, minőség, tápelem-tartalom stb.) talaj tápelem-ellátottsági szinthez köthetők és értelmezhetők, lehetővé téve talaj tápelem-tartalmának növénykísérlettel történő kalibrálását.

A 2. fejezet a szója (*Glycine max.* L./Merr.) tápanyag-ellátásának kérdéseivel foglalkozik, mintegy 74 oldalon, 11 kísérleti év eredményeit értékelve, 48 táblázat és kilenc ábra illusztrálásával. Részletesen ismertetésre kerülnek a kísérlet körülményei, a kísérleti ciklus alatt végzett vizsgálatok. A szója kutatási területeihez elemző irodalmi áttekintés kapcsolódik. A tápanyag-ellátottság és terméshozam kapcsolatának értékelése kiterjed a N-, P- és K-főhatásokra, kölcsönhatásokra, valamint az évjáráthatásokra. Választ kapunk arra, hogy milyen talaj tápanyag-ellátottsági szintig érvényesülnek trágyahatások és mikor számíthatunk termésdepresszióra. A szója minőségi paramétereinek alakulását a N- és P-ellátottság függvényében ismerteti a szerző, tekintetbe véve az évjárat befolyását is. A szója tenyészidő alatti száraz-

anyag-felhalmozását és tápelem-felvételét hat fejlődési fázisban vizsgálták. Kimutatták a tápanyag-ellátottság hatását a növényi részek (levél+szár, hüvely, mag) makro- és mikroelem tartalmára, a tápelem-felhalmozásra és a fajlagos tápelem-tartalomra. Termésszintenként határozták meg a szója fajlagos tápelem-tartalmát. A levél tápelem-koncentrációja és a termés hozam közötti összefüggés vizsgálatokkal – 320 adatpárra alapozva – kidolgozták a szója kielégítő tápláltsági állapotát jellemző tápelem-ellátottsági határértékeket és -arányokat a virágzás kezdeti fázisára, a diagnosztikai célú növényanalízis gyakorlati alkalmazásához.

A 3. fejezet a lóbab (*Vicia faba* L.) trágyázási kísérleti eredményeit mutatja be 48 oldal terjedelemben, 33 táblázat segítségével, négy kísérleti évet átfogva. Szerző a szója fejezethez hasonlóan ismerteti a kísérleti ciklus talajvizsgálatai és időjárás adatait, valamint a termés- és minőségelemzés, a szárazanyag-felhalmozás és a tápelem-felvétel vizsgálatának metodikáját. Tematikus irodalmi áttekintés kapcsolódik az egyes kutatási területekhez. A kísérleti eredmények alapján áttekintést kapunk a N-, P- és K-ellátás termés hozamra, minőségre gyakorolt hatásáról a talaj tápanyag-ellátottsági szintjéhez kötve. A szárazanyag-felhalmozást és tápelem-felvételt a lóbab tenyészidejének hét fázisában vizsgálták, részletesen elemezve az N-, P- és K-trágyázás hatását a tápelem-koncentrációra és a tápelem-felhalmozásra, valamint a fajlagos tápelem-tartalomra. A diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásához kidolgozták a lóbab kielégítő tápláltsági állapotát jellemző tápelem-koncentráció és -arány határértékeket a virágzás kezdeti fázisára.

A 4. fejezet az őszi árpa (*Hordeum vulgare* L.) trágyázási kísérletek eredményeiről ad számot 39 oldal terjedelemben, 22 táblázat és nyolc ábra felhasználásával, három kísérleti évet elemezve. E fejezet is részletesen ismerteti a kísérlet körülményeit, a talaj- és növényvizsgálatok metodikáját. Az eredmények bemutatásához koherens irodalmi áttekintés társul. A termés hozam eredmények információt adnak arról, hogy a talaj milyen N-, P- és K-ellátottsági szintjéig érvényesülnek trágyahatások. Ugyancsak ismereteket kapunk a N- és P-ellátottság minőségét (fehérjetartalom, aminosav-összetétel) befolyásoló hatásáról. A bokrosodáskori növényanalízis vizsgálatok elemzik a N-, P- és K-ellátás hatását a hajtás tápelem-koncentrációjára és a tápelemek közötti kölcsönhatásokra. A hajtás tápelem-koncentrációja és a termés hozam közötti összefüggés vizsgálatokkal – 192 adatpárra alapozva – kidolgozták az

őszi árpa kielégítő tápláltsági állapotát jellemző tápelem-ellátottsági határértékeket és -arányokat a bokrosodás (Feekes 4-5) fázisára.

Az 5. fejezetben a rostkender (*Cannabis sativa* L.) tápanyag-ellátásának eredményeit foglalják össze a szerzők, mintegy 76 oldalon, 48 táblázat és 10 ábra segítségével. A gondos módszertani leírás és irodalmi áttekintés mellett, kilenc kísérleti év eredményei ismerhetők meg. A széleskörű vizsgálatok és elemzések eredményeként ismereteket kapunk a N-, P- és K-ellátás kórótermés hozamra és -minőségre (technikai szárhossz, szárátmérő, rost%, rosthozam, rostminőség stb.), valamint kendermag-minőségre (olajtartalom, zsírsav-összetétel, fehérjetartalom, aminosav-összetétel, THC- tartalom) gyakorolt hatásáról. A tenyészidő hat fejlődési fázisában vizsgálták a rostkender szárazanyag-felhalmozását és tápelem-felvételét, termésszinthez kötve meghatározták a fajlagos tápelem-tartalmat és kidolgozták a diagnosztikai célú növényanalízis alkalmazásához a tápelem-ellátottsági határértékeket. Az agrotechnikai és fajta kísérletek eredményei a gyakorlat számára szolgálnak hasznos információkat.

A 6. fejezetben 25 oldalon, 17 táblázat felhasználásával, 13 trágyázási kezeléssel és két csicsóka (*Helianthus tuberosus* L.) fajttal beállított kísérlet eredményeit tekinthetjük át. Az eredmények magukba foglalják a két eltérő tenyészidejű csicsókafajta szárazanyag-felhalmozását, tápelem-felvételét, a fajlagos tápelem-tartalom jelentősen eltérő értékeit, valamint a gumótermés alakulását.

A könyvismertetést az előszót írók idézetével zárom: „*A könyv igen komoly szakmai értéket képviselő hiánypótló munka, amely hazai és nemzetközi vonatkozásban is fontos tudományos és gyakorlatban is jól hasznosítható eredményeket tesz közzé, kiegészítve azokat széleskörű irodalmi eredményekkel és ismeretekkel.*”

Csathó Péter



NAGY JÁNOS főszerkesztő

a Magyar Tudományos Akadémia doktora,
Debreceni Egyetem prorektora,
Széchenyi-díjas egyetemi tanára, az Aradi, a Nagyváradi
és a Kaposvári Egyetem „Honoris causa doktora”
az Ukrán Agrártudományi Akadémia külföldi tagja
Szakterülete: növénytermesztés, földművelés
