

NÖVÉNYTERMELÉS

72. kötet | 3. szám | 2023. szeptember

Crop
Production

Alapítás éve: 1952

Főszerkesztő: Nagy János



Debreceni Tartamkísérletek
1983-2023



FEJLŐDÉS, ÖSSZHANGBAN A TERMÉSZETTEL

*50 év innováció
a magyar mezőgazdaságért*



KITE
Jelen vagyunk a jövőben 50

www.kite.hu

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

72. kötet, 3. szám, 2023. szeptember

Főszerkesztő/Editor-in-Chief:

JÁNOS NAGY

Szerkesztőbizottság/Editorial Board:

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

AGRÁRMINISZTERIUM

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

A nyomást és kötést a Zemplén-Vektor Nyomda végezte.

Felelős szerkesztő: Dr. Nagy János

Fedélterv: Dávid Ildikó

Fotót készítette: Dr. Illés Árpád

ISSN 0546-8191

TARTALOM

<i>Nagy János: Beköszöntő</i>	5
<i>Széles Adrienn – Horváth Éva – Simon Károly – Zagyi Péter: Az öntözés és az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára és termésére extrém száraz évben</i>	7
<i>Nagy János – Gombos Béla – Hadászi László – Rátonyi Tamás: Komplex talajművelési tartamkísérlet</i>	31
<i>Nagy János – Gombos Béla – Hadászi László – Bojtor Csaba: Víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérlet (N dózis) eredményei</i>	41
A Debreceni Egyetem MÉK Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézetéhez szorosan kapcsolódó, a tartamkísérletek eredményeiből az elmúlt öt évben megjelent legújabb publikációk jegyzéke	57
<i>Pepó Péter: Debreceni tartamkísérletek 40 éves eredményei</i>	63
<i>Jolánkai Márton – Kassai Mária Katalin – Kende Zoltán – Tarnawa Ákos: A növénytermesztési tartamkísérletek agronómiai jelentősége</i>	103
<i>Berzsényi Zoltán: Tartamkísérletek tervezése és analízise – Györffy Béla (1928–2002) emlékére ajánlom</i>	115

CONTENTS

<i>Nagy, J.</i> : Introduction	5
<i>Széles, A. – Horváth, É. – Simon, K. – Zagy, P.</i> : The impact of irrigation and basal and top dressing fertilisation on the chlorophyll concentration and yield of maize hybrids in extreme dry years	7
<i>Nagy, J. – Gombos, B. – Hadászi, L. – Rátonyi, T.</i> : Complex long-term tillage experiment	31
<i>Nagy, J. – Gombos, B. – Hadászi, L. – Bojtor, Cs.</i> : Results of a water and nutrient management (N dose) long-term experiment	41
List of publications from the last five years related to the results the long-term experiments closely linked to the University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology	57
<i>Pepó, P.</i> : Results of the 40 years of long-term experiments in Debrecen	63
<i>Jolánkai, M. – Kassai, M. K. – Kende, Z. – Tarnawa, Á.</i> : Agronomic benefits of long-term crop production experiments	103
<i>Berzsenyi, Z.</i> : Design and analysis of long-term experiments - in memoriam Béla Győrffy (1928-2002)	115

BEKÖSZÖNTŐ

Közel 200 évre tekint vissza a különböző mezőgazdasági gyakorlatok tesztelésének, értékelésnek igénye, és újabban azok fenntarthatóságának elemzése. A legrégebbi, 1843-óta folyamatosan működő szántóföldi tartamkísérlet a 'Park Grass Experiment' Rothamstedben. 1876-ban alapították az Illinoisi Egyetemen az 'Urbana-Champaign' kísérletet, 1888-ban a Missouri Egyetemen a 'Sanborn Field', 1892-ben az Oklahoma Állami Egyetemen a 'Magruder Plots' és 1896-ban az 'Aurburn's Old Rotation' kísérleteket. Fiatalnak számít a Kaliforniai Egyetemen 1993-ban megkezdett tartamkísérlet, a Davis-i 'Long-Term Research on Agricultural Systems'. Magyarországon 1959-ben Martonvásáron állítottak be hosszútávú tartamkísérleteket. Ezt követően az egyetemeken és a kutatóintézetekben számos tartamkísérletet létesítettek, a trágyázási kísérletek országos hálózatként is működtek. Az 1970-es években a Debreceni Agrártudományi Egyetem a térségben több tartamkísérletet alapított, majd 1983-ban Európában is egyedülálló komplex növénytermesztési tartamkísérleteket indított, amely felölelte az öntözés × trágyázás × növényszám × talajművelés × vetésváltás kölcsönhatások vizsgálatát.

A növénytermesztéstan és a hozzá kapcsolódó társszociplinák (földműveléstan, talajtan, agrokémia, agrometeorológia, növényélettan, műszaki ismeretek) óriási változásokon mentek keresztül az elmúlt 40 év során. Ezek a változások egyrészt a kutatások kiterjedését, a tudományterületek szélesebb együttműködését érintették, másrészt a kutatási területek mélységét, elmélyültségét, részleteinek kidolgozását jelentették. Napjainkban a növénytermesztés multifunkcionális tudományterületté vált. Ahhoz, hogy a növénytermesztés kibővülő, kiszélesedő feladatait a tudományos kutatás megfelelő módon, új eredményekkel tudja támogatni megbízható kísérletek szükségesek. A tartamkísérletek pótolhatatlan adatokat szolgáltatnak mind a tudományos kutatás, mind az egyetemi oktatás, mind az innovációs folyamat eredményeként a gyakorlat számára – ezek maradandó, időálló értékek. A tartamkísérletek olyan felbecsülhetetlen nemzeti értéket képviselnek, amelyek mással nem helyettesíthetők, pótolhatatlanok. Különösen felértékelődött a

tartamkísérletek jelentősége az elmúlt évtizedekben. A tartamkísérletek továbbra is meghatározó fontosságúak a növénytermesztési technológiák további fejlesztésének tudományos megalapozásában. Ezek a tartamkísérletek olyan fontos célok tudományos megalapozását szolgálják, mint a klímaváltozáshoz történő alkalmazkodás, ennek elősegítése a növénytermesztésben, a környezetbarát, fenntartható növénytermesztési modellek kidolgozása, a termesztés hosszútávú biológiai, agronómiai és ökonómiai hatékonyságnak komplex vizsgálata.

A Debreceni Egyetem kutatásainak különleges drágaköveit jelentik azok a tartamkísérletek, amelyek 1983 óta folynak a Látóképi Kísérleti Telepen. Ezek a tartamkísérletek kiváló alapokat szolgáltatnak a precíziós technológiai fejlesztésekhez, valamint a környezetbarát, fenntartható növénytermesztési modellek kidolgozásához. Az elmúlt négy évtized alatt a kezdeti agronómiai vizsgálatok jelentősen kibővültek talajtani, meteorológiai, agrokémiai, növényfiziológiai, növényvédelmi és egyéb vizsgálatokkal, amelyek tudományos megbízhatósága és gyakorlati alkalmazhatósága a tartamkísérleteken alapulnak.

Kivételes, Európában is unikális érték a negyven évjáratot felölelő több tízmillió adat, amellyel a tartamkísérleteink során rendelkezünk a Debreceni Egyetemen.

A *Növénytermelés* c. folyóirat ünnepi számának kiadása azért is nagy öröm számunkra, mert a folyóirat szerkesztősége 15 éve működik a Debreceni Egyetemen.

Nagy János
főszerkesztő

Az öntözés és az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára és termésére extrém száraz évben

SZÉLES ADRIENN - HORVÁTH ÉVA - SIMON KÁROLY - ZAGYI PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A tanulmány célja annak vizsgálta, hogy az öntözés és a nitrogén alap- és fejtrágyázás mennyisége és annak kijuttatási ideje hogyan hat a különböző genotípusú kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD) és szemtermésére mészlepedékes csernozjom talajon, extrém száraz évben (2022). Kimutattuk, hogy a nedvességihiány rontotta a műtrágyák növények általi felvehetőségét, hasznosíthatóságát. A műtrágyázás a SPAD értéket nem öntözött változatban a Fornad hibrid (V12₁₈₀, $p < 0,05$) kivétel nem befolyásolta. Öntözött változatban mindhárom hibrid az A₆₀ kezelés hatására érte el a maximális értéket ($p < 0,05$). A klorofill-koncentráció a szárazságnak köszönhetően minden fejlődési szakaszban rendkívül alacsony volt. A V8 fenofázisra kialakult a maximális SPAD érték ($p < 0,05$)(43,2–48,8), mind a nem öntözött, mind az öntözött változatban, majd a betakarítás időszakára jelentősen lecsökkent (10,5–15,4). A hibridek között a korai vegetációs időben volt kimutatható SPAD érték különbség, mégpedig az Armagnac és a Merida hibrid között ($p < 0,05$), ahol a Merida hibrid rendelkezett magasabb SPAD értékkel mindkét változatban. A termésmennyiséget a N 120 kg/ha alaptrágyaként (A₁₂₀) kijuttatva növelte ($p < 0,05$), kivéve a Merida hibrid nem öntözött változatát, ami jól jelzi a hibrid szárazságtűrését (41,0 SPAD érték, V6₁₅₀ kezelés, 10,060 t/ha). A klorofilltartalom érzékeny a nedvességihiányra, így a klorofill lebomlása már a korai vegetációs időszakban megkezdődött, az öntözés késleltette ezt a folyamatot, amely genotípustól és műtrágyakezeléstől függően a szemtermés mennyiségében megmutatkozott. Az öntözés hatása az Armagnac hibridnél V6₁₅₀ (5,267 t/ha), a Fornad

hibridnél V6₉₀ (4, 075 t/ha) és a Merida hibridnél az A₁₂₀ (4,160 t/ha) kezelésben volt a legnagyobb. Megállapítottuk, hogy speciális körülmények között (extrém szárazság) a klorofill-koncentráció hatékony támogatást nyújt a szárazságtűrő hibridek kiválasztásához. Továbbá, hogy természetes csapadékelátottság mellett, extrém aszályos évben a korai érésű Merida (FAO 380) hibrid V6₁₅₀ kezeléssel, ha lehetőség van az öntözésre, akkor a középérésű Armagnac (FAO 490) hibrid A₁₂₀ kezeléssel javasolható a termesztésre. A szántóföldi tartamkísérlet egyéves eredménye nem elegendő ahhoz, hogy egyértelmű megállapítást tegyünk, azonban ilyen extrém aszályos év négy évtizede nem fordult elő hazánkban.

Kulcsszavak: klorofill-koncentráció, öntözés, N-műtrágyázás

The impact of irrigation and basal and top dressing fertilisation on the chlorophyll concentration and yield of maize hybrids in extreme dry years

A. SZÉLES – É HORVÁTH – K. SIMON – P. ZAGYI

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

Summary

The aim of this study was to investigate the effect of irrigation and the amount and timing of application of nitrogen basal and top dressing fertilisation on the chlorophyll concentration (SPAD) and grain yield of maize hybrids of different genotypes on chernozem soil with lime deposits in an extreme dry year (2022). It was shown that moisture deficit impaired the uptake and utilisation of fertilisers by plants. The SPAD value was not affected by fertiliser application in the non-irrigated version, with the exception of the Fornad hybrid (V12₁₈₀, $p < 0.05$). In the irrigated version, all three hybrids reached the maximum value ($p < 0.05$) under the A₆₀ treatment. Chlorophyll concentration was extremely low at all developmental stages due to drought. The maximum SPAD value ($p < 0.05$) (43.2–48.8) was reached at the V8 phenophase in both the non-irrigated and irrigated versions, and then decreased

significantly (10.5–15.4) by the harvesting period. A difference in SPAD value was detected between the hybrids at the early vegetation period, between Armagnac and Merida ($p < 0.05$), where Merida had higher SPAD values in both versions. Yield was increased ($p < 0.05$) when N was applied as a basal fertiliser (A_{120}) at 120 kg/ha, except for the non-irrigated version of the Merida hybrid, which is indicative of the drought tolerance of the hybrid (41.0 SPAD value, V_{6150} treatment, 10.060 t/ha). Chlorophyll content is sensitive to moisture deficit, so that chlorophyll degradation started early in the growing season, irrigation delayed this process, which was reflected in grain yield depending on genotype and fertiliser treatment. The effect of irrigation was greatest in the treatment V_{6150} (5.267 t/ha) of the Armagnac hybrid, V_{690} (4.075 t/ha) of the Fornad hybrid and A_{120} (4.160 t/ha) of the Merida hybrid. It was found that, under specific conditions (extreme drought), chlorophyll concentration is an effective aid in selecting drought tolerant hybrids. Furthermore, under natural rainfall conditions, in extreme drought years, the early maturity Merida (FAO 380) hybrid can be recommended for cultivation with the V_{6150} treatment, while the medium maturity Armagnac (FAO 490) hybrid can be recommended for cultivation by applying the A_{120} treatment, if irrigation is possible. The one-year results of the field experiment are not sufficient to make a definite conclusion, but such an extreme drought year has not occurred in Hungary for four decades.

Keywords: chlorophyll concentration, irrigation, N fertilisation

Bevezetés

A Világ népessége átlépte a 8 milliárd fős mérföldkövet és a becslések szerint 2050-re eléri a 9,9; és 2100-re a 10,4 milliárd főt (UNDESA 2022). Ennek következtében a főbb élelmiszernövények termelését a FAO (2020) tájékoztatója szerint 70%-kal növelni kell, és mindezt a szántóterületek növelése nélkül kell elérni. E helyzetet tovább nehezíti a klímaváltozás okozta nehézségek.

A mezőgazdasági termelés nagyon érzékeny az időjárásra és az éghajlat változására (Walsh et al. 2020, Wilson et al. 2022). Az éghajlatváltozás egyes régiókban javíthatja, máshol megnehezítheti a mezőgazdasági termelést (Gowda et al. 2018). Több tanulmány kimutatta, hogy a hőmérséklet- és a csapadéktrendek változása negatív hatást gyakorol a terméshozamokra, így a világ egyik fő növényére, a kukoricára is (Marton et al. 2005a, Lobell et al. 2011, Jägermeyr és Frieler 2018, Huzsvai et al. 2020, Maitah et al. 2021).

Az évjárat kedvezőtlen hatása, ésszerű tápanyag- és vízgazdálkodással elkerülhető, illetve mérsékelhető (Bocz et al. 1984, Nagy 1997, Csajbók et al. 2003, Wiswakumar et al. 2008, Berzsényi et al. 2011, Szilágyi et al. 2013, Pepó 2021, Jolánkai et al. 2022). A tápanyagok közül ebben a nitrogénnek kulcsszerepe van. A nitrogén műtrágya ugyanis az egyik létfontosságú növényi tápanyag, nélkülözhetetlen a levelek fotoszintetikus aktivitásának fenntartásához, a növényi növekedéshez (Carter és Knapp 2001, Berzsényi 2009, Zang és Shangguan 2011, Terrer et al. 2019, Simkó et al. 2020), növeli a vegetatív tömeget és alapvető szerepet tölt be a termésmennyiség növekedésében (Li et al. 2007, Árendás et al. 2018, Nagy 2021, Szabó et al. 2022), valamint hatással van a termés minőségére (Izsáki 2009, Ványiné Széles és Nagy 2012, Széles et al. 2019, Illés et al. 2020, Horváth et al. 2021, Fejér et al. 2022) és más tápelemek felvételére (Kádár és Csathó 2015, Csathó et al. 2017, Xue et al. 2021). Egyre fontosabb cél a nitrogén-felhasználás hatékonyságának javítása gazdasági és környezetvédelmi okokból egyaránt (Barbieri et al. 2008, Yadav et al. 2017, Bojtor et al. 2022).

Az éghajlatváltozással összefüggő magasabb átlaghőmérséklet és az egyre gyakoribb szárazság miatt a víz egyre limitálóbb tényezővé válik a kukoricatermesztésben. Vízstressz alakulhat ki akár túlzott vízmennyiség, akár vízhiány miatt. A túl nagy mennyiség (csapadék, öntözővíz) korlátozza a kukoricagyökerek légzését és csökkenti a fiziológiai fejlődést (Niu et al. 2014, Tian et al. 2019, Pan et al. 2021). A túl kevés vízmennyiség (szárazságstressz) pedig korlátozza a növények talajon keresztüli tápelemfelvételét (Árendás et al. 2008, Cramer et al. 2009, Sardans és Peñuelas 2012), csökkenti a fotoszintézist (Song et al. 2019), és rontja a genetikai termőképességet (Marton et al. 2005b), továbbá nem elegendő a növény alapvető élettani fejlődéséhez (Zheng et al. 2022), ami a terméshozam jelentős csökkenését eredményezi (Spitkó et al. 2014, Horváth et al. 2021, Nagy 2021, Mohammed et al. 2022). A súlyos vízstressz hatására leáll a fotoszintézis, anyagcsere-zavar lép, ami végül a növény pusztulásához vezet (Jaleel et al. 2008, Costa et al. 2014). A műtrágya és a víz optimalizált összekapcsolása előfeltétele annak, hogy magasabb erőforrás-felhasználási hatékonyságot érjünk el, magasabb terméssel és minőséggel együtt (Rácz és Nagy 2011, Csajbók 2018, Plett et al. 2020).

A műtrágyák megfelelő kijuttatásához szükség van a növényekben található nitrogén alapos értékelésére, amihez a növény szenzorok alkalmazása lehetőséget biztosít a tápanyagállapot gyors és kevésbé költséges felmérésére és nyomon követésére (Schepers et al. 1996, Nagy 2010, Ványiné et al. 2012, Ványiné és Nagy 2012, Gabriel et al. 2019, Simkó és Veres 2019, Rhezali és Aissaoui 2021, Zagyai et al. 2022).

Vizsgálatunk célja az agrotechnikai elemek közül a nitrogén alap- és fejtrágyázás mennyiségének és a kijuttatás időzítésének, valamint az öntözés hatásának értékelése a kukorica klorofill koncentrációjára és szemtermésére, extrém száraz körülmények között.

Anyag és módszer

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén végeztük, löszön képződött, alföldi mészlepedékes csernozjom talajon. A kísérlet sávos elrendezésű, kétismétléses kispárcellás szántóföldi tartamkísérlet, amely 2011. évben lett beállítva (1. ábra). Jelen dolgozatban nem öntözött és öntözött körülmények között a Merida (FAO 380), Fornad (FAO 420) és az Armagnac (FAO 490) hibridek extrém száraz évi (2022) klorofill-koncentráció- és terméseredményei kerültek elemzésre.

Az időjárást a kísérleti területen elhelyezett automata időjárás állomás által mért és rögzített adatok alapján értékeltük. Az értékeket az 1981–2010-es időszak átlagához viszonyítottuk (OMSZ 2020). A 2022-es tenyészidőszakot megelőző téli félévben kevés csapadék hullott, ami nem tudta a talaj mélyebb rétegeit átmedvesíteni. Ez a későbbi szárazságot tovább súlyosbította. Áprilisban az átlaghoz közeli 54,1 mm csapadék biztosította a magágy kellő nedvességtartalmát, a kelés zavartalanságát. Ezt követően augusztus végéig rendkívül száraz és meleg időjárás uralkodott, az utóbbi évtizedekben nem tapasztalt súlyosságú aszály alakult ki. Június 12-től július 30-ig 3,1 mm csapadék hullott. A csapadék megkésve érkezett, a szeptemberben lehullott 162 mm csapadék az átlag több mint háromszorosa volt. Összességében a 2022. év tenyészidőszakát magas középhőmérséklet (18,5 °C) és alacsony csapadékellátottság (294 mm), és annak nem megfelelő eloszlása jellemezte (2. ábra).

1. ábra. Az alap- és fejtrágyázási tartamkísérlet elrendezése
(Széles A. által alapítva, 2011)

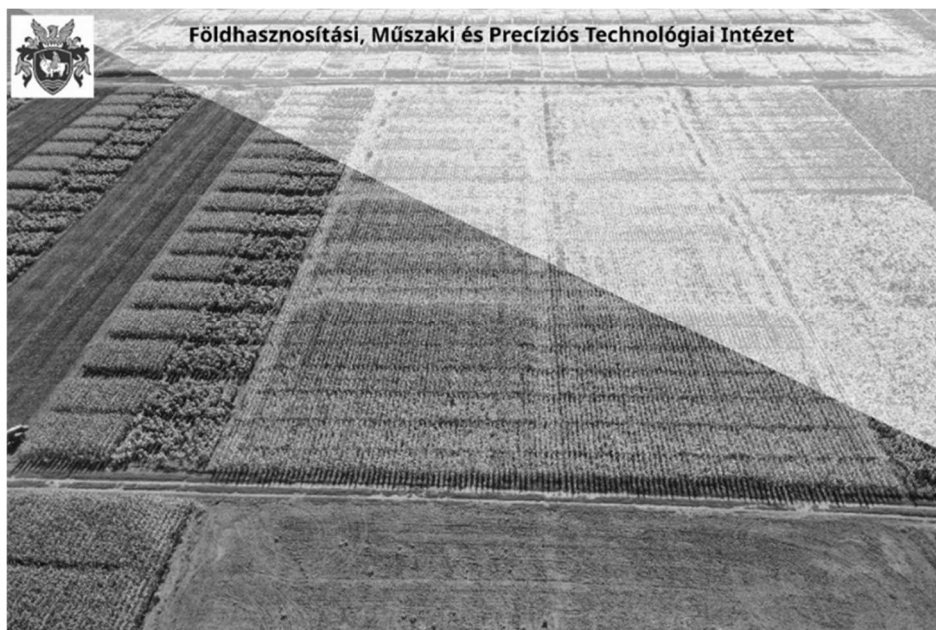


Figure 1. Design of the basal and top-dressing fertilisation long-term experiment (established by A. Széles, 2011)

A kísérletben hét műtrágyakezelést alkalmaztunk. A műtrágyázás nélküli (A_0) kezelés mellett, a tavaszi alaptrágyaként kijuttatott 60 és a 120 kg N/ha (A_{60} , A_{120}) dózist, amelyet kétszeri fejtrágyázás követett V6 (V_{690} , V_{6150}) majd V12 (V_{12120} , V_{12180}) fenofázisban, mennyisége +30 és +30 kg N/ha volt. A növényszám 73 ezer növény/ha, az elővetemény kukorica volt. A kukorica vetése 2022. 04. 14-én, betakarítása 2022. 10. 05-én volt. A kijuttatott öntözővíz mennyisége összesen 115 mm volt, az alábbi bontásban: 25 mm (május 21.), 30 mm (június 13-16.), 30 mm (július 3.), 30 mm (július 16.). A betakarított szemtermés 14%-os nedvességtartalomra korrigálva lett megadva.

A növények leveleinek klorofill-koncentrációját a SPAD-502 klorofill mérőműszerrel a kukoricaállomány V6, V8, V10, V12, Vn, Vt, R1, R3 és R6 fenológiai szakaszában végeztük. Figyelembe vettük, hogy a klorofilok nem

oszlának el homogénen a levéllemezen (Jordan et al. 2012, Gabriel et al. 2019), ezért a méréseket a legmegfelelőbb helyen, a levél csúcsa és a levélörv felezőpontjában, a levélszélről és a főértől egyenlő távolságban végeztük. A méréseket Costa et al. (2001) útmutatása alapján minden növény azonos levelén végezzük, a hatleveles és a virágzás közötti fejlettségi stádiumban a legkésőbb megjelent teljesen kifejtett levélen, címerhányás után a csónél levő levélen.

2. ábra. A csapadék és a hőmérséklet alakulása a tenyészidőszakban (Debrecen, 2022)

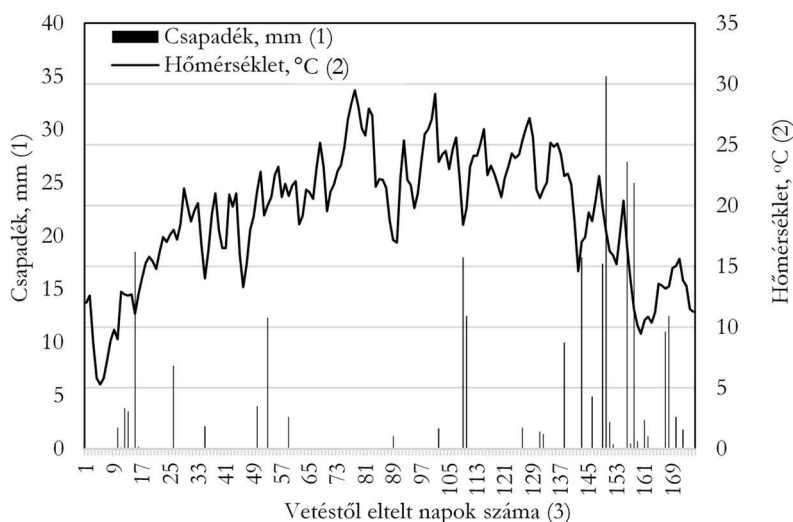


Figure 2. Rainfall and temperature trends during the growing season (Debrecen, 2022). (1) Precipitation (mm), (2) Temperature (°C), (3) Number of days since sowing

A kezelések függő változóra gyakorolt hatását általános lineáris modellel (GLM) vizsgáltuk (Huzsvai és Vincze 2013). A kezeléskombinációk középértékeinek összehasonlítását Duncan-tesztel végeztük. Az alap szignifikancia szint 5% volt. A kiértékelést az SPSS for Windows 23.0 statisztikai programcsomaggal végeztük.

Eredmények

A kukorica hibridek klorofill-koncentrációja (SPAD) nem öntözött változatban

Nem öntözött változatban az Armagnac hibrid esetében az A_0 kezelés (31,8) SPAD értékét az A_{60} 20,4 és az A_{120} kezelés 16,7%-kal növelte. Az alap 120 kg N/ha-ra V6 és V12 fenológiai fázisban +30 és +30 kg N/ha növeléssel ($V12_{180}$) 21,7%-os emelkedést értünk el. A Duncan teszt azonban egy homogén csoportot képezett. A Fornad hibridnél az A_{60} kezelés 14,7%-os, a 120 kg N/ha alapkezelés (A_{120}) 16,9%-os növekedést eredményezett. A statisztikailag igazolt legnagyobb SPAD érték azonban a $V12_{180}$ kezeléssel (40,5; $p < 0,05$) volt elérhető, amely az A_0 kezeléshez viszonyítva 24,2%-os növekedés jelent. A Merida hibrid esetében az A_{120} kezelés 19,6%-kal növelte a SPAD értéket az A_0 kezeléshez viszonyítva (34,1). A két alapkezelés között minimális, 3,8%-os volt az eltérés. A Duncan teszt nem különítette el a kezeléseket, egy homogén csoportot képezett. Műtrágya-kezelésenként értékelve a hibridek közötti eltérést megállapítható, hogy a Merida hibrid minden tápanyagszinten meghaladta az Armagnac és a Fornad hibrid SPAD értékét. Jelentős különbség az A_{120} kezelésben az Armagnac és a Merida hibrid között volt, ahol a Merida hibrid klorofill-koncentrációja 3,7 SPAD értékkel volt nagyobb, mint az Armagnac hibridé (3. ábra).

A hibridek klorofill-koncentrációja fenofázisonként eltérést mutatott. A V6 fenológiai szakaszban legnagyobb SPAD értékkel a Merida hibrid rendelkezett (43,6; $p < 0,05$) megelőzve 11,5%-kal a hosszabb tenyészidejű Armagnac, és 15,0%-kal a Fornad hibrideket. Az Armagnac és Fornad hibrid között szignifikáns eltérés nem volt. A V8 fejlődési fázisban hasonlóan alakultak a hibridek SPAD értékei. A Merida hibrid 48,8 SPAD értéke jelentősen meghaladta mind az Armagnac (45,5), mind a Fornad hibrid (44,1) klorofill-koncentrációját ($p < 0,05$). A két hosszabb tenyészidejű hibrid között igazolt eltérés volt kimutatható. A V10 stádiumban továbbra is a Merida hibrid SPAD értéke volt a legnagyobb (48,2), de az Armagnac hibrid értékétől (45,7) szignifikánsan nem különbözött, a Fornad hibrid értékét 8,3%-kal haladta meg ($p < 0,05$). Az Armagnac és a Fornad hibrid között megbízható különbség nem alakult ki a SPAD értékben. A V12 fenofázisban a legnagyobb SPAD értékkel a Merida hibrid rendelkezett (42,0), ezzel 10,5%-kal megelőzve az Armagnac hibrid értékét ($p < 0,05$), de a Fornad hibridtől szignifikáns eltérést nem mutatott. Az Armagnac és a Fornad

hibrid között ebben a fázisban sem volt statisztikailag igazolt különbség. Az utolsó levél megjelenésekor (Vn), bár már jelentősen csökkent a klorofill-koncentráció, a Merida hibrid értéke volt még mindig a legnagyobb (34,8; $p < 0,05$). Az Armagnac és a Fornad hibrid SPAD értéke a Duncan teszt alapján egy csoportot képezett. A VT, R1 és R3 fenológiai fázisokban a hibridek között megbízható eltérés nem volt. A fiziológiai érettség (R6) szakaszában a Fornad hibrid klorofill-koncentrációja volt a legnagyobb (15,4) eltérést mutatva az Armagnac és a Merida hibridek értékétől ($p < 0,05$). Az Armagnac és a Merida hibrid SPAD értékei között igazolt különbség nem volt (4. ábra).

3. ábra. Az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD), nem öntözött változat (Debrecen, 2022)

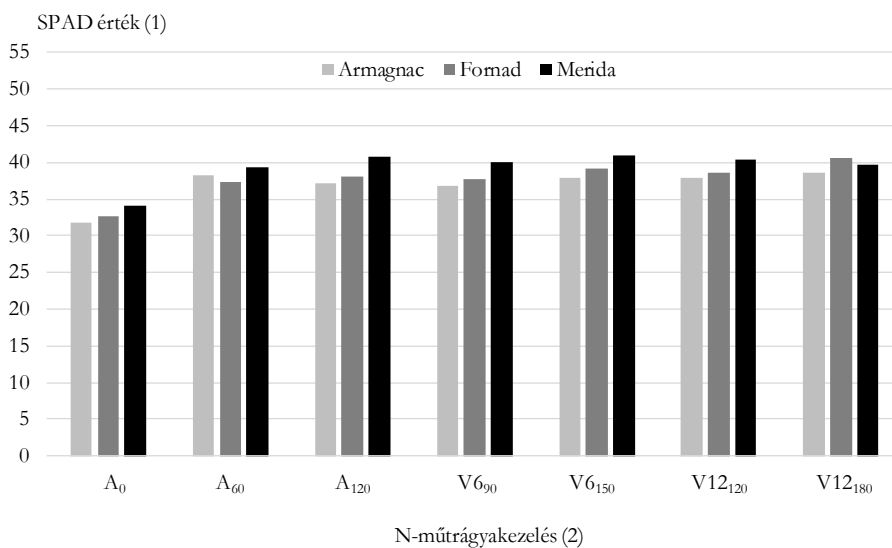


Figure 3. Effect of basal and top dressing fertilisation on chlorophyll concentration (SPAD) of maize hybrids, non-irrigated (Debrecen, 2022). (1) SPAD value, (2) N fertiliser treatment

4. ábra. A fenofázis hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD), nem öntözött változat (Debrecen, 2022)

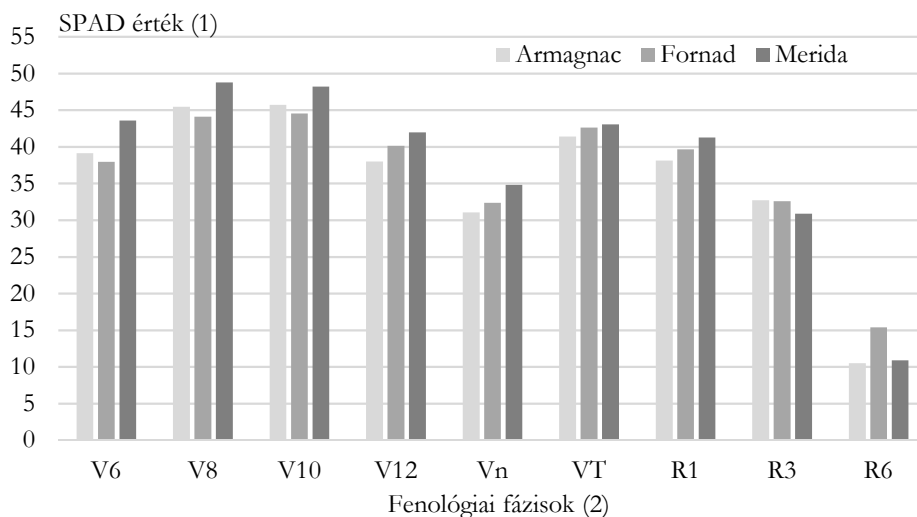


Figure 4. Effect of phenophase on chlorophyll concentration (SPAD) in maize hybrids, non-irrigated version (Debrecen, 2022). (1) SPAD value, (2) Phenological phases

A kukorica hibridek klorofill-koncentrációja (SPAD) öntözött változatban
 Öntözött változatban az Armagnac hibrid az A₀ kezelés (30,7) SPAD értékét az A₆₀ kezelés 22,5%-kal, az A₁₂₀ kezelés 31,3%-kal növelte. Ez 7,0 és 9,6 SPAD érték növekedés. A fejtrágyakezelések közül a V6₁₅₀ kezelés adta a legnagyobb klorofilltartalmat (41,8). Megbízható SPAD érték növelő kezelés az A₆₀ kezelésben (p<0,05) volt. A Fornad hibridnél a nem műtrágyázott kezeléshez viszonyítva (30,5) a két tavaszi alapkezelés növelte a SPAD értéket (A₆₀, 39,3%; A₁₂₀, 34,9%). A fejtrágyázás hatására szignifikáns növekedés nem alakult ki. A 60 kg N/ha alapkezelés (A₆₀) biztosította a szignifikánsan igazolt legnagyobb SPAD értéket (42,5; p<0,05). A Merida hibridnél a tavaszi 60 kg N/ha alapkezelés (39,1) az A₀ kezeléshez képest (32,2) 21,4%-os növekedést ért el, de az A₁₂₀ kezelésre V6 fejlődési szakaszban +30 kg N/ha-ral tovább lehetett növelni a klorofill-koncentrációt (44,7). Ez azonban statisztikailag nem mutatott megbízható növekedést. Eredményesnek az A₆₀ kezelés bizonyult (p<0,05). A hibridek között az alap- és fejtrágyakezelésekben nem volt megbízható különbség, kivéve az

Armagnac és a Fornad hibrid között, az A₆₀ kezelésben. A Fornad hibrid klorofill-koncentrációja 4,9 SPAD értékkel ($p < 0,05$) volt nagyobb, mint az Armagnac hibridé (5. ábra).

5. ábra. Az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD), öntözött változat (Debrecen, 2022)

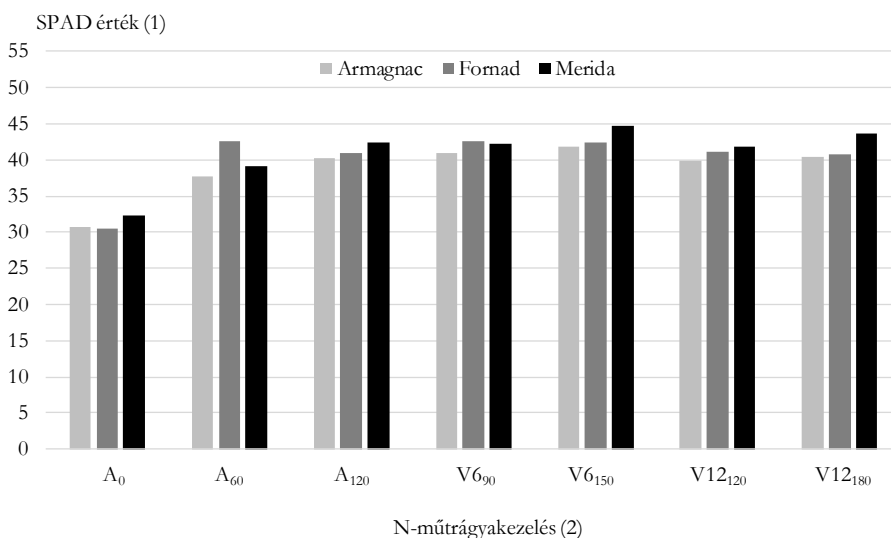


Figure 5. Effect of basal and top dressing fertilisation on chlorophyll concentration (SPAD) of maize hybrids, irrigated (Debrecen, 2022). (1) SPAD value, (2) N fertiliser treatment

A hibridek klorofill-koncentrációja között a hatleveles (V₆) és az utolsó levél megjelenése (V_n) időszakban volt igazolt különbség. A V₆ fenofázisban a Merida hibrid rendelkezett a legnagyobb SPAD értékkel (41,0), ezzel 10,5%-kal megelőzve az Armagnac és 12,6%-kal a Fornad hibridet ($p < 0,05$). Az Armagnac és a Fornad hibridek között megbízható eltérés nem volt. A V_n fenológiai fázisban szintén a Merida hibrid klorofill-koncentrációja volt a legnagyobb (36,8), de megbízhatóan csak az Armagnac hibrid SPAD értékétől tért el ($p < 0,05$). Az Armagnac és a Fornad hibridek közötti eltérés nem igazolt (6. ábra).

6. ábra. A fenofázis hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD), öntözött változat (Debrecen, 2022)

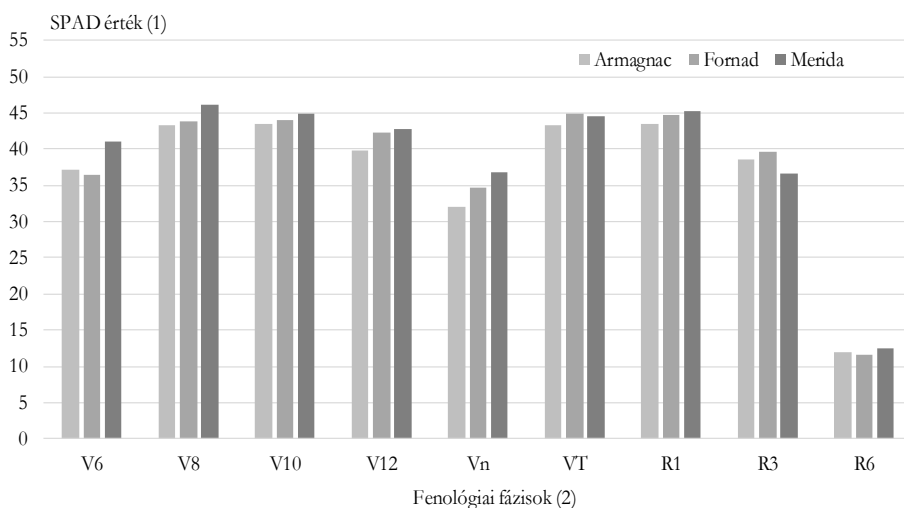


Figure 6. Effect of phenophase on chlorophyll concentration (SPAD) in maize hybrids, irrigated version (Debrecen, 2022). (1) SPAD value, (2) Phenological phases

Öntözés hatása a kukorica hibridek klorofill-koncentrációjára (SPAD)

Az alap- és fejtrágyakezelésenként elvégzett értékelés azt mutatta, hogy mindhárom hibridnél a nem műtrágyázott (A_0) kezelésben magasabb volt a klorofill-koncentráció, mint az öntözött változatban, illetve az Armagnac és a Merida hibridnél az A_{60} kezelésben. Az A_{120} és a fejtrágyakezelésekben az öntözött változatban volt mindhárom hibrid esetében magasabb a SPAD érték, azonban a legnagyobb különbség hibridenként eltérő tápanyagszinten alakult ki. Az Armagnac hibridnél a $V6_{90}$ (4,1), a Fornad hibridnél az A_{60} (5,1) és a Merida hibridnél $V12_{180}$ (4,0) kezelésben. A kezelések átlagában a legkisebb öntözéshatás a Merida hibridnél volt (2,1%), az Armagnac hibridnél (3,4%) és a Fornad hibridnél (3,8%) közel azonosan alakult.

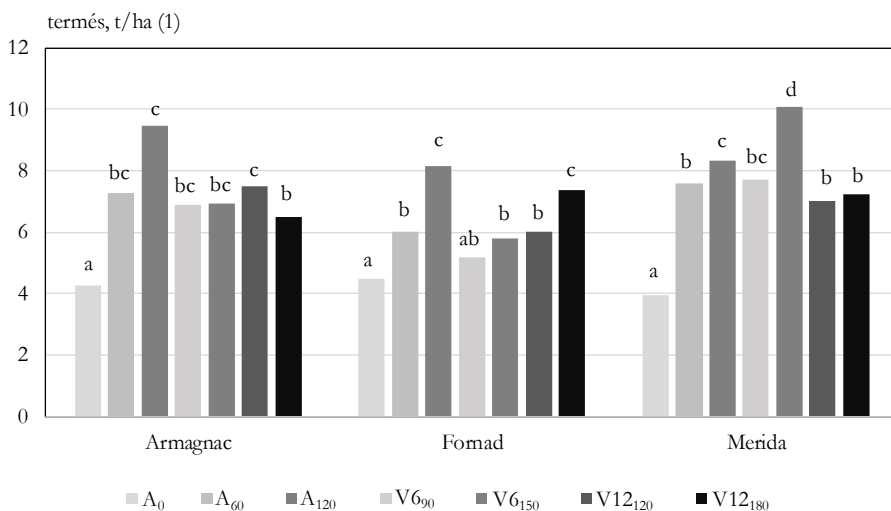
Fenológiai fázisonként vizsgálva az öntözés hatását a műtrágyakezelések átlagában, megállapítható, hogy mindhárom hibridnél a V6 és V10 között a nem öntözött, míg a V12 és R6 között az öntözött kezelésben volt magasabb a SPAD érték. Az R3 fenofázisban jelentős volt az öntözés hatására kialakult

SPAD érték növekedés, az Armagnac hibridnél 5,9 (18,%) , a Fornad hibridnél 7,1 (21,5%) és a Merida hibridnél 5,8 (18,8%).

A kukorica hibridek termése nem öntözött változatban

A különböző genotípusú kukorica hibridek termése a kezelések átlagában 3,966 és 10,060 t/ha között alakult (7. ábra).

7. ábra. Az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésére, nem öntözött változat (Debrecen, 2022)



Megjegyzés: A különböző betűvel jelzett termés értékek szignifikánsan különböznek egymástól a Duncan tesztalapján, $p < 0,05$ valószínűségi szinten.

Figure 7. Effect of basal and top dressing fertilisation on the yield of maize hybrids, non-irrigated version (Debrecen, 2022) (1) Yield (t/ha). Note: Yield values marked with different letters are significantly different from each other based on Duncan's test at the $p < 0.05$ probability level.

Az Armagnac hibrid esetében az A₀ (4,236 t/ha) kezelés terméseredményét a tavaszi alapkezelések jelentősen növelték, a 60 kg N/ha műtrágya 7,266 t/ha-ra (71,5%), a 120 kg N/ha 9,454 t/ha-ra (123,2%) növelte a termést ($p < 0,05$). A 60 kg N/ha mennyiséget (A₆₀) +30 kg N/ha mennyiséggel növelve (V₆₉₀) szignifikáns eltérést nem okozott, illetve a 12 leveles állapotban kijuttatott további 30 kg N/ha (V₁₂₁₂₀, 7,499 t/ha) 9,3%-os növekedés sem mutatott megbízható

többleteredményt. A 120 kg N/ha alapkezelést (A_{120}) tovább növelve ($V6_{150}$) kismértékű nem szignifikáns csökkenés volt, majd a $V12_{180}$ kezelésben már jelentős terméscsökkenés mutatkozott (6,500 t/ha; $p < 0,05$). Eredményes műtrágyakezelésnek az A_{120} kezelés bizonyult ($p < 0,05$).

A *Fornad hibridnél* is a termések hasonlóan alakultak a műtrágyakezelések hatására. Az A_{60} kezelésre (6,025 t/ha) 35% és az A_{120} kezelésre (8,151 t/ha) 82,6%-os növekedéssel reagált az A_0 kezeléshez (4,463 t/ha) képest ($p < 0,05$). A két alapkezelés között 35,3% különbség volt ($p < 0,05$). A fejtrágyázás hatására szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. A *Fornad hibridnél* az A_{120} kezelés alkalmazása indokolt ($p < 0,05$).

A *Merida hibrid* a 3,966 t/ha-os nem műtrágyázott kezelését az A_{60} kezelés 3,604 t/ha-ral (90,9%), az A_{120} kezelés 4,376 t/ha-ral (110,3%) múlta felül. A két alapkezelés közötti eltérés 10,2% ($p < 0,05$). Az alap 60 kg N/ha kezelést (A_{60}) a két fenológiai szakaszban további N/ha mennyiséggel növelve nem hozott megbízható termésnövekedést, míg a 120 kg N/ha kezelést (A_{120}) $V6$ fenofázisban +30 kg N/ha mennyiséggel növelve ($V6_{150}$) jelentős termésnövekedést eredményezett (10,060 t/ha; $p < 0,05$). A további N-műtrágya kijuttatása ($V12_{180}$) már terméscsökkenést okozott (7,211 t/ha; $p < 0,05$). A *Merida hibridnél* a $V6_{150}$ fejtrágyakezelés volt eredményes.

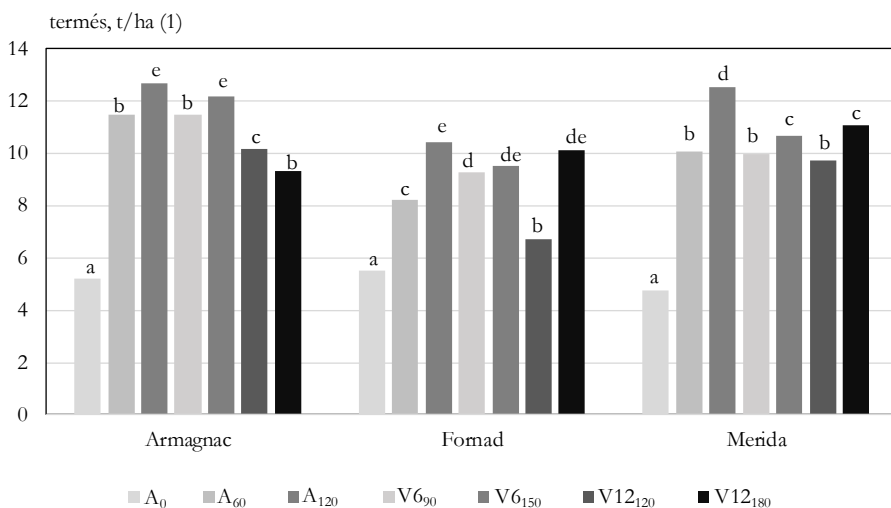
A hibrideket műtrágyakezelésenként egymással összehasonlítva, megállapítható, hogy a kontroll kezelésben (A_0) megbízható eltérés a *Fornad* és a *Merida hibrid* között volt. A *Fornad hibrid* 12,5%-kal magasabb hozammal rendelkezett ($p < 0,05$). A 60 kg N/ha (A_{60}) alaptrágya kezelés átlagosan 64,7%-kal emelte a termést ($p < 0,05$), amely a *Merida hibrid* estében volt a legnagyobb, a termésnövekedés 90,9%-os volt. Ebben a kezelésben a legalacsonyabb termésmennyisége a *Fornad hibridnek* volt, amelyet az *Armagnac hibrid* 20,6%-kal ($p < 0,001\%$), a *Merida hibrid* 25,6%-kal ($p < 0,01\%$) múlt felül. A 60 kg N/ha alaptrágyát (A_{60}) további 30 kg N/ha dózissal növelt kezelésben ($V6_{90}$) mindhárom hibridnél nem szignifikáns csökkenés mutatkozott. A $V6_{90}$ kezelésben a *Merida* és az *Armagnac hibrid* között megbízható különbség nem volt. A *Fornad hibrid* termése azonban kevesebb volt 24,7%-kal, mint az *Armagnac* ($p < 0,05$) és 33,2%-kal, mint a *Merida hibrid* termése ($p < 0,001$). A $V12_{120}$ kezelésben a *Fornad* és az *Armagnac hibrid* ($p < 0,001$), illetve a *Fornad* és a *Merida* ($p < 0,01$) hibrid között volt kimutatható igazolt különbség. Az A_{120} kezelésben az *Armagnac hibrid* termése jelentősen magasabb volt, mint a *Fornad* és a

Merida hibridé, amely eltérés minkét esetben 0,1%-os szinten igazolt. A V6₁₅₀ kezelésben az Armagnac és a Fornad hibridek között megbízható eltérés nem volt, azonban a Merida hibrid 45,4%-kal ($p < 0,001$) meghaladta az Armagnac, és 74%-kal ($p < 0,001$) a Fornad hibrid termését. A V12₁₈₀ kezelésben a hibridek termésmennyisége között statisztikailag igazolt különbség nem volt.

A kukorica hibridek termése öntözött változatban

Műtrágyakezelésenként vizsgáltuk a hibridek termését öntözött körülmények között, az értékek 4,738 és 12,668 t/ha között változtak (8. ábra).

8. ábra. Az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica hibridek termésre, öntözött változat (Debrecen, 2022)



Megjegyzés: A különböző betűvel jelzett termés értékek szignifikánsan különböznek egymástól a Duncan tesztalapján, $p < 0,05$ valószínűségi szinten.

Figure 8. Effect of basal and top dressing fertilisation on the yield of maize hybrids, irrigated version (Debrecen, 2022) (1) Yield (t/ha), Note: Yield values marked with different letters are significantly different from each other based on Duncan's test at the $p < 0.05$ probability level.

Az Armagnac hibridnél az A₀ kezelés 5,189 t/ha-os terméséhez viszonyítva a legkisebb alapdózisú N műtrágyakezelés (A₆₀) 6,256 t/ha-al (120,6%;

$p < 0,05$), a nagyobb 120 kg N/ha kezelés (A_{120}) 7,479 t/ha-al (144,1%; $p < 0,05$) növelte a termést. A két alapkezelés közötti eltérés 1,223 t/ha volt ($p < 0,05$). A V6 szakaszban kijuttatott +30 kg N/ha (V_{690}) nem befolyásolta a termés alakulását, azonban V12 fenofázisban a további +30 kg N/ha (V_{12120}) jelentős csökkenést eredményezett (1,323 t/ha; $p < 0,05$). Az A_{120} alapkezeléshez viszonyítva a V_{6150} kezelés hatására szignifikáns változás nem volt kimutatható, majd a további N adag kijuttatására (V_{12180}) már 2,895 t/ha-ral csökkent a termés ($p < 0,05$). A statisztikailag igazolt legnagyobb termésmennyiség az A_{120} kezelés hatására alakult ki ($p < 0,05$).

Fornad hibridnél az A_0 kezeléshez (5,518 t/ha) viszonyítva az alap 60 kg N/ha (A_{60}) 8,195 t/ha-ra, az alap 120 kg N/ha (A_{120}) 10,420 t/ha-ra növelte a termést, amely 48,5% és 88,8%-os növekedést jelent. Eredményes volt 60 kg N/ha + a V6 fenofázisban további 30 kg N/ha kijuttatása (V_{690} ; 9,242 t/ha), amely 1,047 t/ha-os szemtermés növekedés ($p < 0,05$). Növelve a műtrágyamennyiséget (V_{12120}) már jelentős terméscsökkenést realizáltunk (2,536 t/ha; $p < 0,05$). Az A_{120} kezelés 10,420 t/ha terméseredményét a további fejtrágya-kezelések pozitívan nem befolyásolták ($p < 0,05$). Az alkalmazott kezelések közül a legnagyobb termésnövelő hatásúnak a tavaszi alap 120 kg N/ha kezelés tekinthető ($p < 0,05$).

A *Merida hibridnél* a 60 kg N/ha tavaszi alapkezelés (10,069 t/ha) 112,5%-os növekedést hozott a nem műtrágyázott kezeléshez képest (4,738 t/ha). Az A_{120} kezelésnek 163,5%-os termésnövelő hatása volt, elérve a 12,502 t/ha-t, ezzel a legeredményesebb kezelés volt ($p < 0,05$). A fejtrágyakezelések hatására pozitív változás nem alakult ki.

A hibrideket műtrágyakezelésenként egymással összehasonlítva megállapítható, hogy a kontroll kezelésben (A_0) megbízható eltérés az Armagnac és a Fornad hibrid között nem volt. A Merida termése volt alacsonyabb mindkét hibrid termésétől ($p < 0,05$). Az alap 60 kg N/ha kezelésben (A_{60}) az Armagnac hibrid jelentősen meghaladta a Fornad (39,7% $p < 0,001$) és a Merida hibrid (13,7%; $p < 0,01$) termését. A Merida hibridnek 22,9%-kal volt több szemtermése, mint a Fornad hibridnek ($p < 0,001$). Mindhárom hibrid esetében a legeredményesebb tápanyagkezelésben (A_{120}) az Armagnac és a Fornad hibridek termése között volt a legjelentősebb eltérés. A hosszabb tenyészidejű Armagnac hibrid termése 2,248 t/ha haladta meg a Fornad hibrid termését ($p < 0,001$). Az Armagnac és Merida hibridek között 1%-os szinten igazolt eltérés volt. A

Merida hibrid 2,082 t/ha-os terméstöbbséggel reagált erre a kezelésre a Fornad hibridhez képest ($p < 0,001$). A fejtrágyakezelésekben szignifikáns eltérés volt a hibridek között, kivéve az Armagnac és Merida hibridek V12₁₂₀ kezelését. A hibridek között a legnagyobb eltérés az Armagnac és Fornad hibrid között volt kimutatható a V12₁₂₀ kezelésben (3,444 t/ha; $p < 0,001$), ahol az Armagnac hibrid (10,150 t/ha) terméseredménye volt eredményesebb.

Öntözés hatása a kukorica hibridek termésére

Az öntözés a műtrágyakezelések átlagában az Armagnac hibridnél volt a legjelentősebb (3,381 t/ha), míg a Fornad és a Merida hibrideknél közel azonos volt (2,3 t/ha). Minden tápanyagszinten kivéve az A₀ (Fornad hibrid) és a V12₁₈₀ (Merida hibrid) kezelést, az Armagnac hibridnél volt az öntözésnek a legnagyobb termésnövelő hatása. A legnagyobb mértékű termésnövelő hatás hibridenként eltérő tápanyagszinten alakult ki, az Armagnac hibridnél V6₁₅₀ (5,267 t/ha), a Fornad hibridnél a V6₉₀ (4,075 t/ha) és a Merida hibridnél az A₁₂₀ (4,160 t/ha) kezelésben.

Következtetések

A legrövidebb tenyészidejű Merida hibrid (FAO 370-390) klorofill-koncentrációja – a kezelések átlagában – volt a legnagyobb, míg az Armagnac hibridé, amely a legnagyobb FAO számmal rendelkezett (FAO 490) volt a legkisebb, mind a nem öntözött mind az öntözött változatban.

Nem öntözött körülmények között a Fornad hibridnél a V12₁₈₀ kezelés (40,5; $p < 0,05$), öntözött körülmények között mindhárom hibridnél az A₆₀ kezelés hatására mértük a legnagyobb SPAD értéket ($p < 0,05$), amely a Fornad hibridnél volt jelentősebb (39,3%) az A₀ kezelés értékéhez képest. A hibridek között megbízható különbség az Armagnac és a Fornad hibrid között volt, öntözött változatban, az A₆₀ kezelésben. A Fornad hibrid klorofill-koncentrációja 4,9 SPAD értékkel (13,0%; $p < 0,05$) volt nagyobb, mint az Armagnac hibridé.

Az öntözés mindhárom hibridnél az A₁₂₀ és a fejtrágyakezelések mindegyikében növelte a klorofill-koncentrációt. Megbízható hatásúnak ($p < 0,05$) az Armagnac hibridnél a V6₉₀, a Fornad hibridnél az A₆₀ és a Merida hibridnél a V12₁₈₀ kezelés bizonyult. A kezelések átlagában a Merida hibridnél mutatható ki a

legkisebb (2,1%), míg a Fornad hibridnél a legnagyobb (3,8%) öntözéshatás. Fenológiai szakaszonként értékelve az öntözés hatását, azt tapasztaltuk, hogy a korai vegetatív szakaszokban (V6, V8 és V10) az öntözés hatására mindhárom hibridnél csökkent, majd a V12 fenofázistól növekedett a SPAD érték. Az R1 és R3 fenofázisban már jelentős volt az öntözéshatás. A Fornad hibrid klorofill-koncentrációja növekedett a legnagyobb mértékben az R3 fenofázisban, 21,5%-kal.

Nem öntözött változatban a hibridek természetes tápanyag-hasznosító képességét tekintve a Fornad és a Merida hibrid között volt kimutatható eltérés ($p < 0,05$). Az Armagnac és a Fornad hibridnél az A₁₂₀ kezelés volt megbízható hatással a termésnövekedésre ($p < 0,05$), ahol az Armagnac hibrid termése 1,303 t/ha-ral volt magasabb, mint a Fornad hibridé ($p < 0,001$). A Merida hibridnél a V₆₁₅₀ fejtrágyakezelés (10,060 t/ha) volt eredményes ($p < 0,05$). A legnagyobb különbséget a hibridek között a V₆₁₅₀ kezelésben tudtuk kimutatni, a Fornad és a Merida hibrid között, ahol a Merida hibrid 4,278 t/ha-ral ($p < 0,001$) haladta meg a Fornad hibrid termését.

Öntözött körülmények között mindhárom hibridnél az A₁₂₀ kezelés volt legnagyobb hatással a termés alakulására ($p < 0,05$). Ebben a kezelésben jelentős eltérés az Armagnac és Fornad között volt, ahol az Armagnac termése 2,248 t/ha-ral volt nagyobb, mint a Fornad hibridé ($p < 0,001$). A fejtrágyakezelések hatására nem alakult ki szignifikáns termésnövekedés egyik hibridnél sem.

Az öntözés hatását értékelve megállapítható, hogy mindhárom hibridnél minden tápanyagszinten az öntözés növelte a termés mennyiségét. Az öntözés legnagyobb termésnövelő hatása hibridenként eltérő tápanyagszinten alakult ki, az Armagnac hibridnél a V₆₁₅₀ (5,267 t/ha), a Fornad hibridnél V₆₉₀ (4,075 t/ha), és a legrövidebb tenyészidejű Merida hibridnél az A₁₂₀kezelésben (4,160 t/ha). Ez az Armagnac és Fornad hibridnél 76,1 és 78,9%-os, míg a Merida hibridnél 49,9%-os növekedést jelent.

Kimutattuk, hogy természetes csapadékelátottság mellett, extrém aszályos évben a korai érésű Merida (FAO 380) hibrid V₆₁₅₀ kezeléssel, ha lehetőség van az öntözésre, akkor az középerésű Armagnac (FAO 490) hibrid A₁₂₀ kezeléssel javasolható a termesztésre.

Köszönetnyilvánítás

A tanulmány alapjául szolgáló kutatást a TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból biztosított támogatással, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában, illetve a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

IRODALOM

- Árendás T.–Bónis P.–Marton L. Cs.–Berzsenyi Z.: 2008. Aszály után köpönyeg? Martonvásár: az MTA Mezőgazdasági Kutatóintézetének Közleményei. 20. 1: 10–11.
- Árendás T.–Berzsenyi Z.–Bónis P.–Szőke Cs.–Marton L. Cs.–Fodor N.: 2018. A vetésforgó, a trágyázás és a növényszám hatása a kukorica termésére. *Agrofórum Extra*. 75: 98–103.
- Barbieri, P. A.–Echeverría, H. E.–Sáinz Rozas, H. E.–Andrade, F. H.: 2008. Nitrogen Use Efficiency in Maize as Affected by Nitrogen Availability and Row Spacing. *Agron. J.* 100: 1094–1100.
- Berzsenyi, Z.: 2009. Studies on the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hybrids II. Plant growth analysis and growth parameters. *Acta Agronomica Hungarica*. 57. 3: 267–276.
- Berzsenyi, Z.–Arendas, T.–Bónis, P.–Micskei, G.–Sugár, E.: 2011. Long-term effect of crop production factors on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in different years. *Acta Agronomica Hungarica*. 59. 3: 191–200.
- Bocz E.–Nagy J.–Pepó P.–Sárvári M.: 1984. A tápanyag- és vízellátás hatása az őszi búza és kukoricafajták termésmennyiségére, minőségére és öntözési reakciójára. *Agrártudományi Egyetem Tudományos Közl. Debrecen*. 101–112.
- Bojtor, Cs.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Golzardi, F.–Széles, A.–Szabó, A.–Nagy, J.–Marton, Cs. L.: 2022. Nutrient Composition Analysis of Maize Hybrids Affected by Different Nitrogen Fertilisation Systems. *Plants-Basel*. 11: 1593.
- Carter, G. A.–Knapp, A. K.: 2001. Leaf optical properties in higher plants: Linking spectral characteristics to stress and chlorophyll concentration. *Am. J. Bot.* 88: 677–684.
- Costa, C.–Dwyer, L. M.–Dutilleul, P.–Stewart, D. W.–Ma, B. L.–Smith, D. L.: 2001. Inter-relationships of applied nitrogen, SPAD, and yield of leafy and non-leafy maize genotypes. *J. Plant Nutr.* 24: 1173–1194.
- Costa de Oliveira, A.–Marini, N.–Farias, D. R.: 2014. Climate Change: New Breeding Pressures and Goals. [In: Neal, K. Van Alfen (ed.) *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*.] Academic Press. 284–293.

- Cramer, M. D.–Hawkins, H. J.–Verboom, G. A.: 2009. The importance of nutritional regulation of plant water flux. *Oecologia*. 161: 15–24.
- Csajbók J.: 2018. Az öntözés gyakorlata, a növényeink vízigénye. *Agrofórum*. Online. 2018. november 7.
- Csajbók, J.–Kutasy, E.–Borbélyné, H. É.: 2003. The yield stability of maize and winter wheat in a long-term experiment. The environment resources and sustainable development: International Scientific Session Oradea. Romania. 43.
- Csathó P.–Kádár I.–Márton L.–Shalaby, M. H.–Turán T.: 2017. A főbb makro-és mikroelemek közötti kölcsönhatások kísérletes vizsgálata. (Kádár I.–Csathó P. szerk.) MTA Agrártudományi Kutatóközpont. Martonvásár.
- Fejér, P.–Széles, A.–Horváth, É.–Rátonyi, T.–Ragán, P.: 2022. Effects of some agronomic practices on the quality of starch content of maize grains. *Agronomy Research*. 1406-894X.
- Food Security Indicators (FAO): 2020. <http://www.fao.org/economic/ess/ess-fs/ess-fadata/en/#.XiYStoh7mcw>
- Gabriel, J. L.–Quemada, M.–Alonso-Ayuso, M.–Lizaso, J. I.–Martín-Lammerding, D.: 2019. Predicting N status in maize with clip sensors: Choosing sensor, leaf sampling point, and timing. *Sensors (Basel)*. 19. 18: 3881.nn.
- Gowda, P.–Steiner, J. L.–Olson, C.–Boggess, M.–Farrigan, T.–Grusak, M. A.: 2018: Agriculture and Rural Communities. [In: Reidmiller et al. (eds.) Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II.] U.S. Global Change Research Program. Washington DC. USA. 391–437.
- Horváth, É.–Gombos, B.–Széles, A.: 2021. Evaluation phenology, yield and quality of maize genotypes in drought stress and non-stress environments. *Agronomy Research*. 19. 2: 408–422.
- Huzsvai L.–Vincze Sz.: 2013. SPSS-Books. Debrecen. 325.
- Huzsvai, L.–Zsembeli, J.–Kovács, E.–Juhász, Cs.: 2020. Can technological development compensate for the unfavorable impacts of climate change? Conclusions from 50 years of maize (*Zea mays* L.) production in Hungary. *Atmosphere*. ISSN 2073–4433. <https://doi.org/10.3390/atmos11121350>
- Illés, Á.–Mousavi, S. M. N.–Bojtor, C.–Nagy J.: 2020. The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods. *Cereal Res. Commun.* 48: 565–573.
- Izsáki, Z.: 2009. Effect of nitrogen supply on the nutrition of maize. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 40: 960–973.
- Jaleel, C. A.–Gopi, R.–Sankar, B.–Gomathinayagam, M.–Panneerselvam, R.: 2008. Differential responses in water use efficiency in two varieties of *Catharanthus roseus* under drought stress. *Comp. Rend. Biol.* 331: 42–47.

- Jägermeyr, J.–Frieler, K.*: 2018. Spatial variations in crop growing seasons pivotal to reproduce global fluctuations in maize and wheat yields. *Sci. Adv.* 4. 11: eaat4517.
- Jolánkai M.–Kassai M. K.–Kende Z.–Tarnawa Á.*: 2022. Aszály és növénytermesztés – a szélsőséges hatások áttekintése. *Növénytermelés.* 71. 3–4: 87–93.
- Jordan, D. R.–Hunt, C. H.–Cruickshank, A. W.–Borrell, A. K.–Henzell, R. G.*: 2012. The relationship between the stay-green trait and grain yield in elite sorghum hybrids grown in a range of environments. *Crop Science.* 52. 3: 1153–1161.
- Kádár I.–Csathó P.*: 2015. A nitrogén és a réz közötti kölcsönhatás vizsgálata szabadföldi kukorica kísérletben. *Agrokémia és Talajtan.* 64. 1: 177–188.
- Li, X.–Hu, C.–Delgado, J. A.–Zhang, Y.–Ouyang, Z.*: 2007. Increase nitrogen use efficiency as a key mitigation alternative to reduce nitrate leaching in north china plain. *Agr. Water Manage.* 89: 137–147.
- Lobell, D. B.–Schlenker, W.–Costa-Roberts, J.*: 2011. Climate trends and global crop production since 1980. *Science.* 333: 616–620.
- Maitah, M.–Malec, K.–Maitah, K.*: 2021. Influence of precipitation and temperature on maize production in the Czech Republic from 2002 to 2019. *Sci Rep.* 11: 10467.
- Marton L. Cs.–Árendás T.–Bónis P.–Nagy J.–Berzsenyi Z.*: 2005a. A vízellátás hatása különböző tenyészedejű kukorica hibridek agronómiai tulajdonságaira. „AGRO-21” Füzetek. Klímaváltozás –hatások –válaszok. 41: 95–101.
- Marton, L. Cs.–Szundy, T.–Pók, I.*: 2005b. Effect of the year on the vegetative and generative phases in the growing period of maize. *Acta Agronomica Hungarica.* 53. 2: 133–141.
- Mohammed, S.–Alsafadi, K.–Enaruwbe, G. O.–Bashir, B.–Elbeltagi, A.–Széles, A.–Alsalmán, A.–Harsanyi, E.*: 2022. Assessing the impacts of agricultural drought (SPI/SPEI) on maize and wheat yields across Hungary. *Sci Rep.* 12. 1: 8838.
- Nagy, J.*: 1997. The effects of fertilization on the yield of maize (*Zea mays* L.) with and without irrigation. *Cereal Res. Commun.* 25. 1: 6–76.
- Nagy, J.*: 2010. Impact of Fertilization and Irrigation on the Correlation between the Soil Plant Analysis Development Value and Yield of Maize. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 41. 11: 1293–1305.
- Nagy J.*: 2021. Kukorica. A nemzet aranya – Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest.
- Niu, X. L.–Hu, T. T.–Liu, T. T.–Wu, X.–Feng, P. Y.–Liu, J.–Li, K.–Zhang, F. C.*: 2014. Appropriate partial water stress improving maize root absorbing capacity. *J. Agric. Eng.* 30: 80–86.
- OMSZ.* 2020. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/eghajlati_adatsorok/Debrecen/adatok/napi_adatok/index.php

- Pan, J.-Sharif, R.-Xu, X.-Chen, X.*: 2021. Mechanisms of Waterlogging Tolerance in Plants: Research Progress and Prospects. *Front. Plant Sci.* 11: 627331.
- Pepó P.*: 2021. Évjáratok és agrotechnikai tényezők hatásának komplex értékelése tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 70. 4: 43–58.
- Plett, D. C.-Ranathunge, K.-Melino, V. J.-Kuya, N.-Uga, Y.-Kronzucker, H. J.*: 2020. The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity. *Journal of Experimental Botany.* 71. 15: 4452–4468.
- Rácz Cs.-Nagy J.*: 2011. A víz- és tápanyagellátottság, illetve -hasznosulás megítélésének kérdései kukorica terméseredmények vonatkozásában. *Növénytermelés.* 60. 1: 97–114.
- Rhezali, A.-Aissaoui, A. E.*: 2021. Feasibility Study of Using Absolute SPAD Values for Standardized Evaluation of Corn Nitrogen Status. *Nitrogen.* 2: 298–307.
- Sardans, J.-Peñuelas, J.*: 2012. The role of plants in the effects of global change on nutrient availability and stoichiometry in the plant-soil system. *Plant Physiol.* 160: 1741–1761.
- Schepers, J. S.-Blackmer, T. M.-Wilhelm, W. W.-Resende, M.*: 1996. Transmittance and Reflectance Measurements of Corn Leaves from Plants with Different Nitrogen and Water Supply. *J. Plant Physiol.* 148: 523–529.
- Simkó, A.-Gáspár, S.-Kiss, L.-Makleit, P.-Veres, Sz.*: 2020. Evaluation of Nitrogen Nutrition in Diminishing Water Deficiency at Different Growth Stages of Maize by Chlorophyll Fluorescence Parameters. *Plants-Basel.* 9. 6: 676.
- Simkó, A.-Veres, Sz.*: 2019. Evaluation of the correlation between SPAD readings and absolute chlorophyll content of maize under different nitrogen supply conditions. *Acta Agraria Debreceniensis.* 2: 121–126.
- Song, L.-Jin, J.-He, J.*: 2019. Effects of Severe Water Stress on Maize Growth Processes in the Field. *Sustainability.* 11: 5086.
- Spitkó, T.-Nagy, Z.-Tóthné Zsubori, Zs.-Halmos, G.-Bányai, J.-Marton, L. Cs.*: 2014. Effect of drought on yield components of maize hybrids (*Zea mays* L). *Maydica.* 59: 161–169.
- Szabó, A.-Széles, A.-Illés, Á.-Bojtor, C.-Mousavi, S. M. N.-Radócz, L.-Nagy, J.*: 2022. Effect of Different Nitrogen Supply on Maize Emergence Dynamics, Evaluation of Yield Parameters of Different Hybrids in Long-Term Field Experiments. *Agronomy.* 12: 284.
- 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.
- Szilágyi, G.-Vad, A.-Pepó, P.*: 2013. Nutrient and water utilisation analyses of maize on chernozem soil in a long-term field experiment. *Acta Agraria Debreceniensis.* 52: 77–82.

- Terrer, C.-Jackson, R. B.-Prentice, I. C.-Keenan, T. F.-Kaiser, C.-Vicca, S.-Fisher, J. B.-Reich, P. B.-Stocker, B. D.-Hungate, B. A.-Peñuelas, J.-McCallum, I.-Soudzilovskaia, N. A.-Cernusak, L. A.-Talhelm, A. F.-Van Sundert, K.-Piao, S.-Newton, P. C. D.-Hovenden, M. J.-Franklin, O.:* 2019. Nitrogen and phosphorus constrain the CO₂ fertilization of global plant biomass. *Nat Clim Chang.* 9. 9: 684–689.
- Tian, L.-Li, J.-Bi, W.-Zuo, S.-Li, L.-Li, W.-Sun, L.:* 2019. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) Under field conditions. *Agric. Water Manag.* 218: 250–258.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division:* 2022. World Population. Prospects 2022: Summary of Results. UN DESA/POP/2022/TR/NO. 3
- Ványiné Széles, A.-Megyes, A.-Nagy, J.:* 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. *Agric. Water. Manag.* 107: 133–144.
- Ványiné Széles, A.-Nagy, J.:* 2012. Effect of nutrition and water supply on the yield and grain protein content of maize hybrids. *Aust. J. Crop Sci.* 6. 3: 381–290. ID 73644747
- Walsh, M. K.-Backlund, P.-Buja, L.-DeGaetano, A.-Melnick, R.-Prokopy, L.-Takle, E.-Todey, D.-Ziska, L.:* 2020. Climate Indicators for Agriculture. USDA Technical Bulletin 1953. Washington DC. 70.
- Wilson, A. B.-Avila-Diaz, A.-Oliveira, L. F.-Zuluaga, C. F.-Mark, B.:* 2022. Climate extremes and their impacts on agriculture across the eastern corn belt region of the U.S. *Weather Clim. Extrem.* 37: 100467.
- Wiswakumar, A.-Muller, R. W.-Sundermeier, A.-Dygert, C. E.:* 2008. Tillage and nitrogen application methidilogy on corn grain yield. *J. Plant Nutr.* 31: 1963–1974.
- Xue, Y.-Yan, W.-Gao, Y.-Zhang, H.-Jiang, L.-Qian, X.-Cui, Z.-Zhang, C.-Liu, S.-Wang, H.-Li, Z.-Liu, K.:* 2021. Interaction Effects of Nitrogen Rates and Forms Combined With and Without Zinc Supply on Plant Growth and Nutrient Uptake in Maize Seedlings. *Front. Plant Sci.* 12: 722–752.
- Yadav, M. R.-Kumar, R.-Parihar, C. M.-Yadav, R. K.-Jat, S. L.-Ram, H.-Meena, R. K.-Singh, M.-Birbal, Verma, A. P.-Kumar, U.-Ashis Ghosh-Jat, M. L.:* 2017. Strategies for improving nitrogen use efficiency: A review. *Agricultural Reviews.* 38. 1: 29–40.
- Zagyi P.-Rácz D.-Tamás A.-Vad A.-Horváth É.-Széles A.:* 2022. A relatív klorofilltartalom és a termésmennyiség kapcsolatának vizsgálata eltérő genotípusú kukorica hibridekben. *Növénytermelés.* 71. 2: 101–120.

Zhang, X.-Shangguan, Z.: 2011. Effects of nitrogen fertilization on leaf photosynthesis and respiration of different drought-resistance winter wheat varieties. Ying Yong Sheng Tai Xue Bao J. Appl. Ecol. 17: 2064-2069.

Zheng, M. J.-Zhang, L. H.-Zhai, L. H.-Dong, Z. Q.-Jia, X. L.: 2022. Comparison of irrigation strategies for summer maize under deficit irrigation: Grain yield and water use efficiency. Chin. J. Ecol. Agric. 30: 203-215.

A tartamkísérletek eredményeiből jelen cikk szerzőinek közreműködésével megjelent legújabb publikációk jegyzéke az 57-62. oldalon található.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Dr. Kakuszi-Széles Adrienn – Dr. Horváth Éva – Simon Károly – Zagyi Péter

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet

Debrecen

Böszörményi út 138.

H-4032

*szelesa@agr.unideb.hu

Komplex talajművelési tartamkísérlet

¹NAGY JÁNOS - ¹GOMBOS BÉLA - ²HADÁSZI LÁSZLÓ - ¹RÁTONYI TAMÁS

¹Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²KITE Zrt., Nádudvar

Összefoglalás

A debreceni komplex talajművelési (vetésváltás × talajművelés × trágyázás × öntözés × növényszám × genotípus) szántóföldi tartamkísérletet Győrffy Béla akadémikus javaslatára 1989-ben Nagy János professzor alapította, mely Európában is egyedülálló.

Kutatási eredményeink igazolják, hogy a természeti tényezők (öntözés, talajművelés, növényszám, műtrágyázás) hatása nem függetlenek egymástól. Bizonyítottuk, hogy az öntözés × műtrágya és a növényszám × műtrágya kölcsönhatás pozitív, ezért a természeti színvonal megválasztásakor vagy megváltoztatásakor mindhárom tényezőt egyszerre kell változtatni. A kísérlet főátlagához tartozó értékek a variancia komponensek felbontásakor közepes (mid-tech) termelési szintet képviselnek. Alacsonyabb (low-input) termelési szintet megcélözva figyelembe kell venni, hogy az egyik természeti tényező csökkentése a másik két tényező hatását is lerontja. A két tényező relatíve nagyobb ráfordításai nem lesznek hatékonyak. Kutatási eredményeink szerint bármilyen természeti szintet kívánunk elérni, az adott szinten egyszerre kell biztosítanunk a víz-, a tápanyag-ellátás és a növényszám legkedvezőbb kölcsönhatását.

Kulcsszavak: talajművelés, tartamkísérlet, trágyázás, öntözés, növényszám, genotípus

Complex long-term tillage experiment

¹J. NAGY – ¹B. GOMBOS – ²L. HADÁSZI – ¹T. RÁTONYI

¹University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

²KITE Zrt., Nádudvar

Summary

The complex long-term tillage experiment (crop rotation × tillage × fertilisation × irrigation × plant density × genotype) was established in Debrecen in 1989 by Professor János Nagy on the proposal of Academician Béla Győrfy, and is unique in Europe.

The results of our research show that the effects of production factors (irrigation, tillage, plant density, fertilisation) are not independent of each other. We have shown that the interaction between irrigation × fertiliser and plant density × fertiliser is positive, and therefore all three factors should be changed simultaneously when choosing or changing the production level. The values for the main average of the experiment represent a medium (mid-tech) production level when the variance components are decomposed. When aiming for a lower (low-input) production level, it should be taken into account that a reduction in one of the production factors will also diminish the effect of the other two factors. Relatively higher inputs of the two factors will not be efficient. Our research has shown that whatever level of production is desired, the most favourable interaction between water, nutrient supply and plant number must be ensured at the same time.

Keywords: tillage, long-term experiment, fertilisation, irrigation, plant density, genotype

A tartamkísérlet beállítása, kezelései

Multifaktoriális tartamkísérlet kezelései

Talajművelési változat:

- T₁ = őszi szántás (27 cm),
- T₂ = sávós művelés,
- T₃ = tavaszi tárcsás sekélyművelés (12 cm).

Öntözési változat:

- \ddot{O}_1 = öntözött,
- \ddot{O}_2 = nem öntözött.

Műtrágyakezelés:

- M_1 = N 0 kg/ha P_2O_5 0 kg/ha K_2O 0 kg/ha,
- M_2 = N 120 kg/ha P_2O_5 90 kg/ha K_2O 106 kg/ha,
- M_3 = N 240 kg/ha P_2O_5 180 kg/ha K_2O 212 kg/ha.

Növényszám változat:

- N_1 = 30 ezer tő/ha,
- N_2 = 50 ezer tő/ha,
- N_3 = 70 ezer tő/ha,
- N_4 = 90 ezer tő/ha.

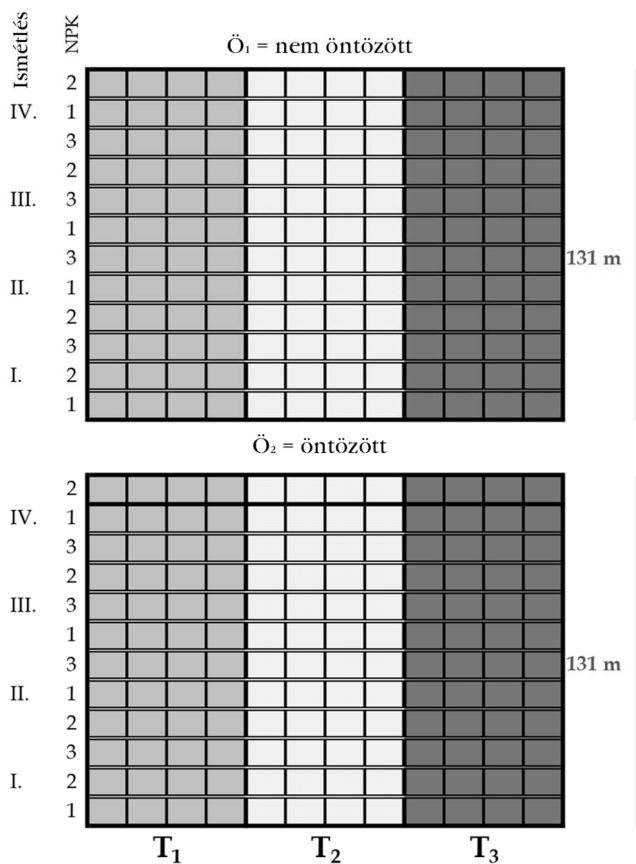
Hibridek: 1-5.

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 30-50-70-90 ezres tőszámmal, a másodrendű alparcellákon a műtrágyakezelés négy ismétlésben randomizáltan foglal helyet.

A kísérlet egy talajművelési blokkja 8064 m². Egy-egy hibriddel beállított főparcella mérete 2688 m², a műtrágyakezelés parcellája négy ismétlésben 336 m² (1. ábra).

A kísérleti telepen a környezeti paraméterek folyamatos mérését automata mérő és adatgyűjtő-állomással végezzük. A berendezés hat másodpercenként méri a levegő hőmérsékletét, relatív páratartalmát 2 m, 1 m és 0,5 m magasságban, a talaj hőmérsékletét 5 cm-es, 25 cm-es és 50 cm-es mélységben, a beérkező sugárzást és a csapadék mennyiségét. Az adatok negyedórás gyakorisággal kerülnek tárolásra, és feldolgozásukat saját rendszer keretében végezzük. A tartamkísérletek eddigi eredményeiből összeállított relációs adatbázis több millió adatot tartalmaz, ami a hatások pontos és megbízható elemzését teszi lehetővé.

1. ábra. Multifaktoriális szántóföldi tartamkísérlet



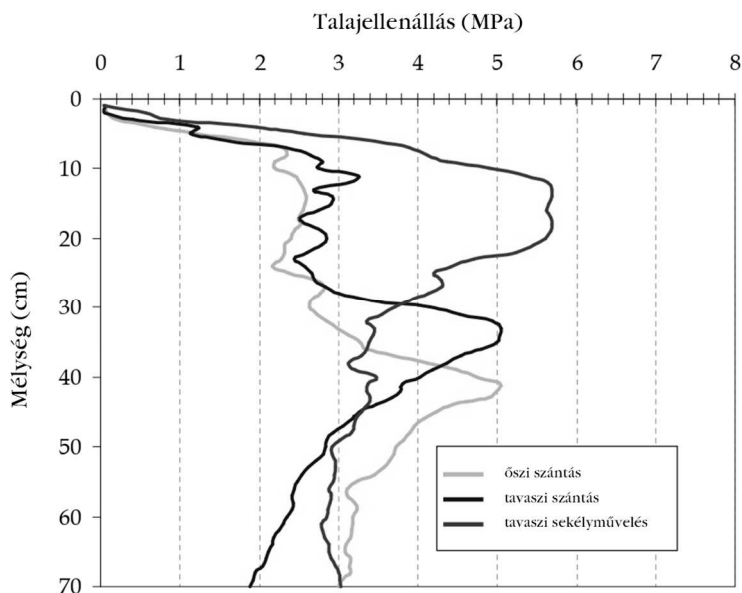
Eredmények

Talajjellenállás

Az alpművelés végrehajtásának mélységétől függően a művelt rétegben látható a művelő eszközök talajlazító hatása. Szántásos alpművelés esetében 0–30 cm mélységben a sekély művelés eredményeképpen a 0–10 cm talajmélységben a művelő eszközök talajlazító hatása kimutatható. A rendszeresen művelt talajréteg alatt tárcsatalp-, illetve eketalp-réteg jelenlétét igazolják a magasabb talajjellenállás

értékek. A sekély tavaszi talajművelés talajtömörítő hatása a legkifejezettebb (2. ábra).

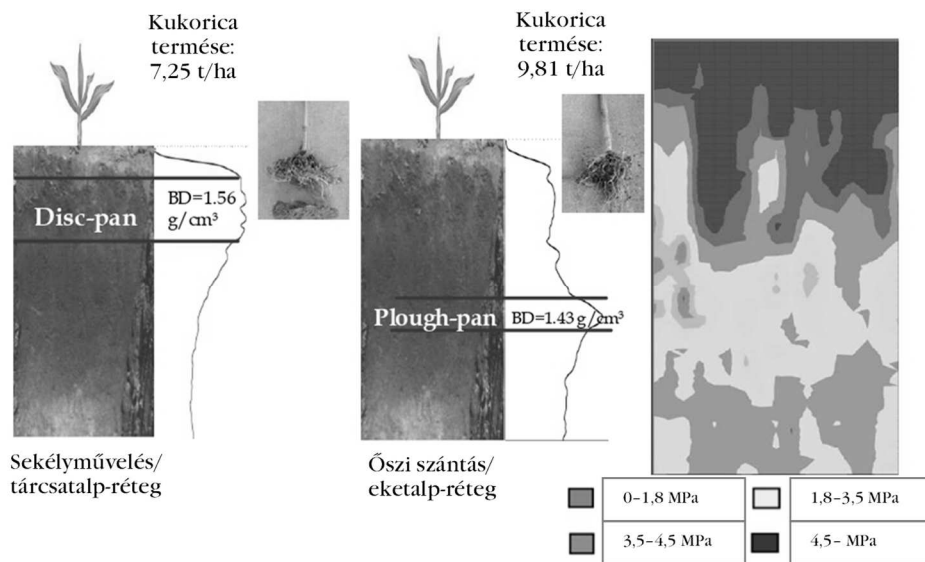
2. ábra. *Eltérő talajelőkészítés hatása a talaj tömődöttségére (Debrecen)*



Talajtömörödés

A penetrométerrel mért talajellenállás az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer a talaj tömődöttségének-lazultságának, a tömörödött rétegek mélységbeli elhelyezkedésének és kiterjedésének, valamint a talajfizikai állapot térbeli és időbeli változásának vizsgálatára. Legnagyobb talajellenállást a több éven keresztül azonos mélységben végzett alpművelés következtében, a művelt réteg alatt kialakult tömör (az ún. eketalp, illetve tárcsatalp) rétegben volt. A művelés keresztprofilján is jól látható, hogy 60 cm-es mélységig alakult ki a lazult művelt, és a 20–40 cm-es talajszelvényben már a tömör talajréteg alakult ki (3. ábra).

3. ábra. Művelés hatása a talaj fizikai állapotára

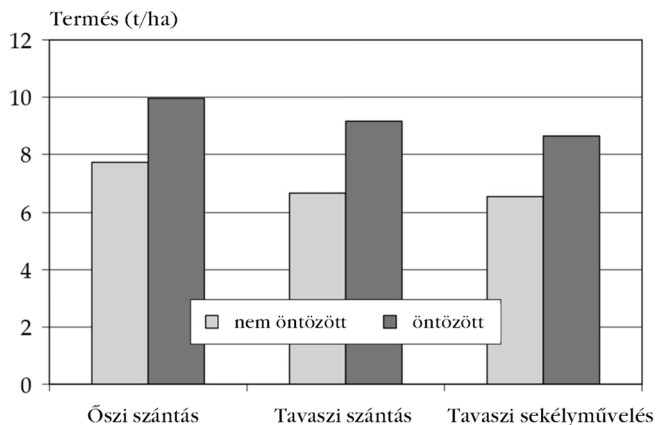


Talajművelés

A talajművelés növénytermesztési szempontból akkor éri el célját, ha a vetőágy megfelelő, és jó feltételeket biztosít a kukorica csírázásához, egyenletes keléséhez, az egyöntetű növényállomány kialakításához. Az őszi szántás terméscsoportjai jelentősen eltértek a szántás nélküli terméseredményektől. Az évek átlagában az őszi szántás biztosította a kukorica számára a legmegfelelőbb feltételeket.

A talajművelés hatása lényegesen eltért az öntözés nélküli és az öntözött változatokban (4. ábra). Nem öntözött állományban, az aszályos években az őszi szántás és a szántás nélküli közel azonos termést adott. Az átlagos csapadékellátottságú években legjobb volt az őszi szántás, ehhez képest a szántás nélküli 15%-kal termett kevesebbet. Öntözött változatban az aszályos és az átlagos csapadékellátottságú években egyaránt az őszi szántás volt a legkedvezőbb, aszályos években a szántás nélkülihez képest 6-7%-kal, átlagos csapadékellátottságú években a szántás nélkülihez képest 28%-kal.

4. ábra. A talajművelés és az öntözés hatása a kukorica termésére



Csernozjom talajon – legalább átlagos csapadékelátottság esetén – az őszi szántás trágyázás nélkül, vagy kis trágyaadagok használata esetén, segítve a talaj tápanyagainak feltárását, számottevően növeli a kukorica termését. A műtrágyázás teljes mértékben nem, de részben kompenzálni képes más kedvezőtlen agrotechnikai hatásokat.

Öntözés

Az öntözés hatása a természetes vízellátottságtól függően nagymértékben differenciált, de a vizsgált évek mindegyikében megbízható. Legnagyobb öntözéshatás az őszi szántásban volt. Átlagos csapadékelátottságú években az öntözéshatás ugyan megbízható, de igen kicsi. Ugyanakkor az aszályos évek átlagában az öntözés terméstöbblete kiemelkedő. A szántás nélküli változat – csernozjom talajon – öntözéssel termesztésben nem ajánlható. Az öntözés terméstöbblete szignifikánsan kisebb, hatékonysága rosszabb, mint őszi szántásban. A vizsgált genotípusok terméseredményei között a különbség nem nagy, de megbízható.

Növényszám

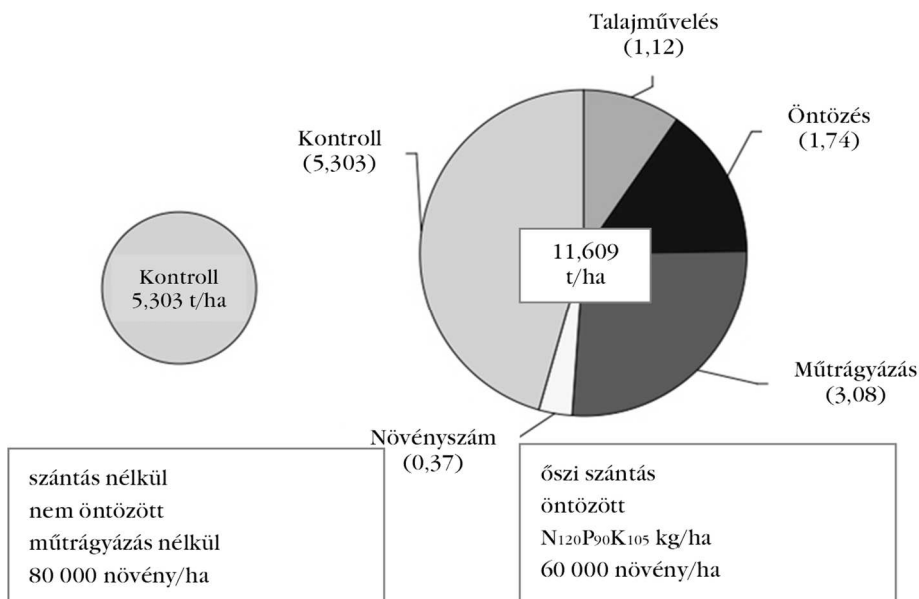
A megfelelő növényszám alkalmazása csak egyéb termést kialakító tényezők figyelembe vételével lehetséges. Egyfelől a növényszám döntően befolyásolja a kukoricatermesztés hatékonyságát, másfelől az indokoltnál nagyobb növényszám nagy kockázatot, terméskiesést jelent a termesztőnek.

Műtrágyázás

A hektáronkénti 240 kg N műtrágyadózis és a 90 ezer növényszám alkalmazása nagy kockázattal jár, ezért nem javasolható. A műtrágyázás terméstöbblete nem öntözött állományban hektáronként 1,9–2,1 t/ha (34–37%), aszályos években azonban csak 1,4–1,5 t. Öntözött változatban a műtrágyázás terméstöbblete kiemelkedő: 4,4 t/ha (67%). Ez is bizonyítja, hogy öntözéses gazdálkodásban a tápanyag-ellátottság döntő tényező.

Kutatási eredményeink szerint a növénytermesztés során egyetlen tényező növelésével vagy csökkentésével nem lehet a legkedvezőbb eredményt elérni. Az egyes tényezők arányát a termésnövekedésben az 5. ábrán szemléltetjük. A kísérlet eredményei alapján a termésnövekedésben a növénytermesztési tényezők aránya a következő: műtrágyázás 48%, öntözés 28%, talajművelés 18%, növényszám 6%.

5. ábra. A növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére (kg/ha)



Kutatási eredményeink igazolják, hogy a termesztési tényezők (öntözés, talajművelés, növényszám, műtrágyázás) hatása nem függetlenek egymástól. Bizonyítottuk, hogy az öntözés × műtrágya és a növényszám × műtrágya kölcsönhatás pozitív, ezért a termesztési színvonal megválasztásakor vagy megváltoztatásakor mindhárom tényezőt egyszerre kell változtatni. A kísérlet főátlagához tartozó értékek a variancia komponensek felbontásakor közepes (mid-tech) termelési szintet képviselnek. Alacsonyabb (low-input) termelési szintet megcélözva figyelembe kell venni, hogy az egyik termesztési tényező csökkentése a másik két tényező hatását is lerontja. A két tényező relatíve nagyobb ráfordításai nem lesznek hatékonyak. Kutatási eredményeink szerint bármilyen termesztési szintet kívánunk elérni, az adott szinten egyszerre kell biztosítanunk a víz-, a tápanyag-ellátás és a növényszám legkedvezőbb kölcsönhatását.

Köszönetnyilvánítás

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

A tartamkísérletek eredményeiből jelen cikk szerzőinek közreműködésével megjelent legújabb publikációk jegyzéke az 57–62. oldalon található.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

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

Hadászi László
KITE Zrt. Innovációs Főigazgatóság
Nádudvar
Bem József u. 1.
H-4181

Víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérlet (N dózis) eredményei

¹NAGY JÁNOS – ¹GOMBOS BÉLA – ²HADÁSZI LÁSZLÓ – ¹BOJTOR CSABA

¹Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²KITE Zrt., Nádudvar

Összefoglaló

A mezőgazdaság folyamatos, széleskörű fejlesztéséhez stabil, orientációs alapot biztosítanak a szántóföldi tartamkísérletek eredményei. A Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén 1983-ban alapított komplex trágyázási tartamkísérlet unikális lehetőséget teremt az egyes kukorica genotípusok tápanyagreakcióinak összehasonlítására a nem műtrágyázott kontroll parcellák és az öt növekvő nitrogén-ellátottsági dózis között, öntözött és nem öntözött kísérleti változatban egyaránt. A kísérlet sokéves eredményei alapján megállapítottuk valamennyi nitrogéntrágyázási szint statisztikailag igazolt termésmenvelő hatását. A nitrogén hasznosítási hatékonysága a 60 kg/ha kezelésben érvényesült legnagyobb mértékben, 45,8%-kal nagyobb termésmennyiséget eredményezve. Az öntözött kísérleti változatot értékelve megállapítottuk, hogy az optimális vízellátottság a kontroll, valamint a növekvő nitrogéndózisok esetében egyaránt termésstabilitást növelő hatást eredményezett, kisebb mérhető évről-évre változékonysággal a termésmennyiségben, 0,49–2,58 t/ha termésmennolet mellett. Az öntözés termesztési stabilitást növelő hatása a műtrágya hasznosítási hatékonyságában egyaránt megmutatkozott. A 120 kg/ha nitrogéndózis átlagosan 62–105%-kal, a 180 kg/ha nitrogéndózis pedig 57–112% közötti mértékben növelte a kukorica termésmennyiségét a kontroll parcellákhoz képest.

Kulcsszavak: kukorica, nitrogéntrágyázás, tápanyag-utánpótlás, tartamkísérlet

Results of a water and nutrient management (N dose) long-term experiment

¹J. NAGY – ¹B. GOMBOS – ²L. HADÁSZI – ¹CS. BOJTOR

¹University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Foods Sciences and Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

²KITE Zrt., Nádudvar

Summary

The results of the field experiments provide a stable orientation basis for the continuous, broad development of agriculture. The long-term complex fertilisation experiment established in 1983 at the University of Debrecen's Látókép Experiment Site provides a unique opportunity to compare the nutrient responses of maize genotypes between non-fertilised control plots and five increasing nitrogen application rates in both irrigated and non-irrigated experimental conditions. Based on many years of experimental results, we found statistically proven yield enhancing effects of all nitrogen fertilisation levels. Nitrogen utilisation efficiency was highest at the 60 kg/ha treatment, resulting in 45.8% higher yields. Evaluating the irrigated experimental version, we found that optimal water supply resulted in an increase in yield stability for both the control and increasing nitrogen doses, with less measurable seasonal variability in yield, with a yield increase of 0.49–2.58 t/ha. The effect of irrigation in increasing crop stability was also reflected in fertiliser use efficiency. On average, 120 kg nitrogen/ha increased maize yield by 62–105% and 180 kg nitrogen/ha by 57–112% compared to control plots.

Keywords: maize, nitrogen fertilisation, nutrient supplementation, long-term experiment

Bevezetés

A mezőgazdaság folyamatos műszaki – agrotechnikai – genetikai fejlődése nem valósulhat meg stabil alapok nélkül, amelyek megbízhatóságot és egyben igazodási pontot is jelentenek a fejlesztések irányvonalainak meghatározásához. Ezen fejlesztések szempontjából orientációs pontoknak tekinthetők azok a szántóföldi tartamkísérletek, amelyek több éve/évtizede azonos helyen és agrotechnikával, meghatározott szempontok mellett teszik lehetővé az új genotípusok vizsgálatát és értékelését (Nagy 2007).

A kukorica klimatikus és edafikus igényeinek ismerete elsődleges jelentőségű a nagy mennyiségű és jó minőségű termés eléréséhez (Nyéki et al. 2017). A környezeti stresszfactorok közül képesek vagyunk csökkenteni az aszály és a tápanyaghiány okozta negatív hatásokat – megfelelő tápanyagutánpótlás és öntözés önálló vagy együttes alkalmazásával (Bennett et al. 1989).

A kukorica optimális tápanyag-ellátottsága a növényi növekedés és fejlődés szempontjából létfontosságú tápanyagok – például nitrogén, foszfor, kálium, magnézium és mikroelemek – rendelkezésre állásától függ. Ezek a tápanyagok meghatározó szerepet játszanak az anyagcserében, a sejtosztódásban és a fotoszintézisben, így közvetlen hatást gyakorolnak a kukorica terméshozamára és minőségére (Riedell 2010, Széles et al. 2019).

A megfelelő tápanyag-ellátottság mellett a növény vízigényének kielégítése képes meghatározni a termés mennyiségét és minőségét. A vízhiány mint abiotikus stresszhatás csökkent tápelemtranszportot eredményezhet a növényekben, ezáltal közvetve csökkentve a szervesanyag-akkumulációt (Cakir 2004). A megfelelő öntözési technikák és vízgazdálkodási módszerek hatékony alkalmazásával hozzájárulhatunk az stresszhatások csökkentéséhez, az optimális vízellátottság fenntartásához és a terméshozam maximalizálásához (Tollenaar és Lee 2002).

A szántóföldi víz- és tápanyag-gazdálkodási tartamkísérlet sokéves eredményei sikerrel járhatnak hozzá az egyes új kukorica genotípusok termőhely-specifikus műtrágyázási technológiájának fejlesztéséhez, a tápanyag- és vízellátottsági optimumszintek meghatározásához.

Anyag és módszer

Termőhely jellemzése

A Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén 1983-ban Prof. Dr. Nagy János által alapított komplex trágyázási tartamkísérletben 40 év azonos tápanyag-gazdálkodási technológiájának tartamhatását tudjuk vizsgálni és értékelni. A kísérlet ezáltal unikális lehetőséget teremt az egyes kukorica genotípusok tápanyag-reakcióinak összehasonlítására a nem műtrágyázott kontroll parcellák és az öt növekvő nitrogén-ellátottsági dózis között, öntözött és nem öntözött kísérleti változatban, amely a hagyományos, kisebb hatóanyag-tartalmú, valamint az intenzív nitrogéntrágyázási technológiák vizsgálatára egyaránt lehetőséget ad (1. ábra).

A kísérleti terület agrotechnológiája hagyományos, forgatásos alpművelésre épülő talajművelési rendszerből áll. A kísérleti terület foszfor- és kálium-trágyázása ősszel, az egyes kezeléseknek megfelelő nitrogéntrágyázás kijuttatása pedig tavasszal, vetést megelőzően történik, precíziós, parcellaszintű kijuttatási technológia mentén, kontroll, valamint öt növekvő nitrogéndózis kialakításával (1. táblázat).

Meteorológiai adatok

Az éghajlati vizsgálatához az Országos Meteorológiai Szolgálat debreceni homogenizált hőmérséklet és csapadék adatsorait használtuk. A szervezet honlapján szabadon elérhető, letölthető az 1901–2022 időszak napi felbontású adatbázisa, melyből az utolsó 40 évet vontuk be a vizsgálatokba. (Meteorológiai Adattár, OMSZ):

- csapadék napi összege,
- napi minimumhőmérséklet,
- napi maximumhőmérséklet,
- napi középhőmérséklet.

A mérések ebben az időszakban végig a várostól délre elhelyezkedő repülőtéren folytak (É.sz.: 47°30', K.h. 21°38', 107 mBf.). Az adatsorok a jelenlegi helyzethez igazítva homogenizáltak, a mérési körülmények változásából fakadó inhomogenitások kiszűrésre kerültek.

1. ábra. A multifaktoriális trágyázási tartamkísérlet térbeli elrendezése (Debrecen-Látókép)

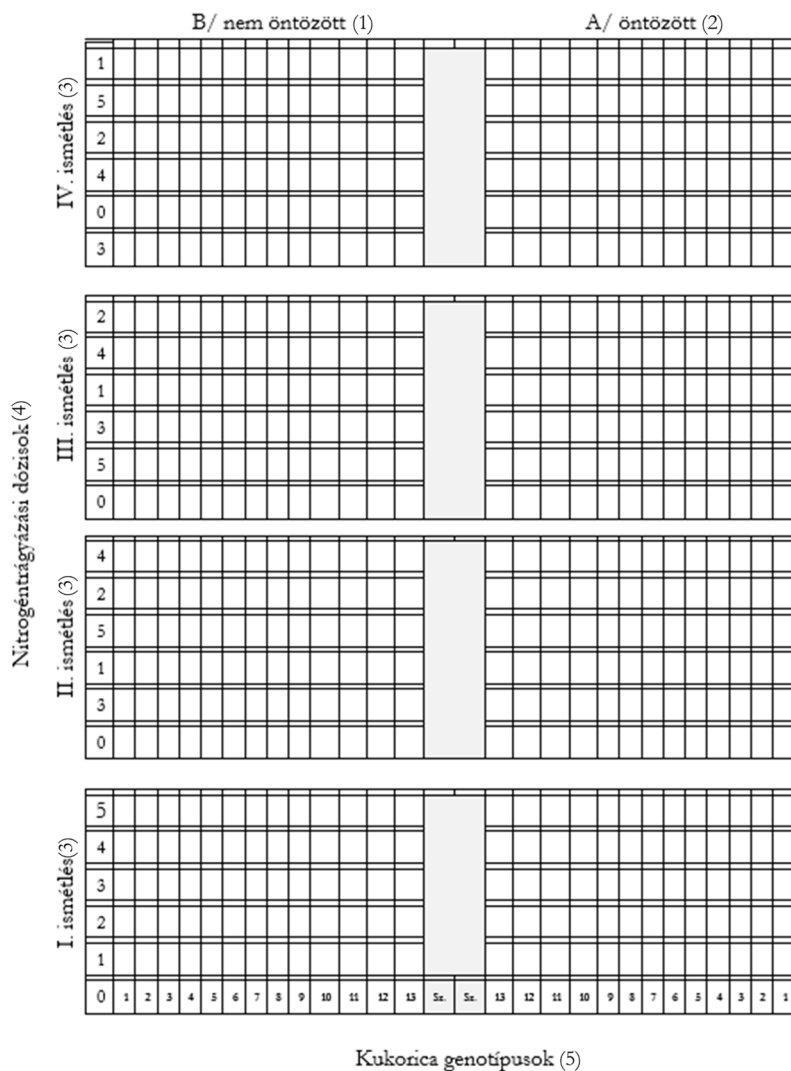


Figure 1. Spatial arrangement of the multifactorial long-term fertilisation experiment (Debrecen-Látókép). (1) B/non-irrigated, (2) A/irrigated, (3) Replicate, (4) Nitrogen fertilisation doses, (5) Maize genotypes

1. táblázat. A multifaktoriális trágyázási tartamkísérlet műtrágyadózisai
(Debrecen-Látókép)

Kezelés (1)	N (kg/ha)	P ₂ O ₅ (kg/ha)	K ₂ O (kg/ha)	Összesen (kg/ha)
0	-	-	-	-
1	60	184	216	460
2	120	184	216	520
3	180	184	216	580
4	240	184	216	640
5	300	184	216	700

Table 1. Fertiliser doses in the multifactorial long-term fertilisation experiment (Debrecen-Látókép) (1) Treatment

A Debrecen-Repülőtér mérőállomáson az évi középhőmérséklet 11,0 °C, az éves csapadékösszeg 543 mm az 1991–2020 időszak átlagában. A leghidegebb hónap a január (-0,8 °C), legmelegebb a július (21,9 °C). A legkevesebb csapadék január–március időszakban, a legtöbb május–július hónapokban hullik (január 24 mm, július 68 mm) (2. táblázat).

2. táblázat. A havi középhőmérséklet (T) és csapadékösszeg (Cs)
30 éves átlagai (1991–2020) Debrecenben

	Hónapok (1)											
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.
T (°C)	-0,8	0,9	5,8	11,9	16,8	20,3	21,9	21,8	16,5	11,0	5,6	0,5
Cs (mm)	24	32	30	45	59	67	68	46	47	41	41	42

Table 2. Average monthly temperature and precipitation in Debrecen (1991–2020). (1) Months

A kutatásunk során vizsgáltuk a Debrecenben az elmúlt 40 év (1983–2022) április–október időszakában végbement hőmérsékleti változásokat. A trendvizsgálatot a következő paraméterek vonatkozásában végeztük el:

- havi középhőmérsékletek (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október);
- napi minimum hőmérsékletek havi átlagai (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október);
- napi maximum hőmérsékletek havi átlagai (április, május, június, július, augusztus, szeptember, október).

A nem-paraméteres Mann-Kendall statisztikai tesztet alkalmaztuk (*Mann* 1945, *Kendall* 1975), ami széleskörűen elterjedt meteorológiai idősorok trendvizsgálatában – mind csapadék, mind hőmérséklet vonatkozásában. A nem-paraméteres próbák esetében a normális eloszlás nem feltétel, továbbá kevésbé érzékenyek a kiugró értékekre. Ezen robosztus módszer előfeltétele mindössze az adatok függetlensége. A kapcsolódó a Sen's slope Estimator minden adatként kiszámolja a meredekség értékét (m_{ij}), és ezek mediánja adja a lineáris trend meredekségének (Q) becslését:

$$m_{ij} = (Y_j - Y_i) / (j - i)$$
$$Q = \text{medián } (m_{ij})$$

ahol: Y_j és Y_i a meteorológiai változó értéke $t=j$, illetve $t=i$ időpontban ($j > i$), és $i=1, \dots, n-1$, $j=2, \dots, n$, n : a minta elemszáma.

Kutatásunkban az adatfeldolgozás első lépéseként a napi felbontású adatbázis alapján Excel táblázatkezelő segítségével előállítottuk a vizsgálandó havi adatsorainkat az 1983–2022 időszakra. A trendvizsgálathoz a Finn Meteorológiai Intézet által kifejlesztett MAKESENS (FMI) Excel makrót használtuk (*Salmi et al.* 2002). A meredekséget – mint a trendérték időegységre eső változását – a könnyebb értelmezhetőség kedvéért a hőmérsékleti értékek esetében $^{\circ}\text{C}/10$ év egységekben adtuk meg. A MAKESENS négy szignifikanciaszint teljesülését vizsgálta a Z teszt statisztika segítségével (α : 0,1; 0,05; 0,01 és 0,001; kétoldali teszttel).

Terméseredmények mérése

A kísérleti parcellák betakarítása SR2010 (Sampo Rosenlew Ltd., Pori, Finnország) parcellakombájnnal történik. A betakarítógép integrált, kalibrált

mérlege által történik a parcella termésmennyiségének meghatározása, amely a parcella területének és tőszámának ismeretében kerül átszámításra üzemi méretre.

A statisztikai vizsgálatokat Minitab (Minitab LLC., Pennsylvania, USA) statisztikai szoftverekkel végeztük. Az eltérő nitrogéntrágyázás, öntözés és évjárat önálló és együttes hatásainak vizsgálatára egy- és többtényezős varianciaanalízist alkalmaztunk, majd pedig az egyes értékek közötti szignifikáns különbségeket Tukey-féle HSD szignifikancia teszttel határoztuk meg. Az eredmények grafikus megjelenítése Ms Excel 365 szoftverrel történt.

Eredmények

Agrometeorológiai eredmények

Az 1983–2022 időszakban a havi középhőmérséklet május kivételével minden vizsgált hónapban emelkedő tendenciát mutat (3. táblázat). A melegedés a nyári hónapokban szignifikáns.

Az áprilisi középhőmérsékletben kismértékű emelkedés figyelhető meg (0,17 °C/10 év), de a trend nem szignifikáns. Míg a maximumok 0,44 °C/10 év mértékű növekvő trendet mutatnak, addig a minimum hőmérsékletek áprilisi átlagban alig változtak.

A 40 éves időszak májusi hőmérsékleti viszonyaiban nem mutatható ki trendszerű változás. A nyári hónapokban minden paraméter esetében igazolódott az emelkedő trend. Különösen júniusban és augusztusban nőtt a hőmérséklet, a középhőmérsékletben 0,90 és 0,70 °C/10 év, a minimumok havi átlagában 0,78 és 0,58 °C/10 év, míg a maximumok havi átlagában 0,98 és 0,83 °C/10 év emelkedés figyelhető meg. Júliusban a melegedés valamivel kisebb mértékű volt, a középhőmérséklet 10 évenként 0,44 °C emelkedést mutatott. A maximum hőmérsékletek mindhárom nyári hónapban nagyobb mértékben emelkedtek, mint a minimumok.

A szeptemberi és az októberi tendenciák igen hasonlóak. A minimum hőmérsékletek 0,46, illetve 0,42 °C/10 év mértékű szignifikáns növekedést mutatnak. A havi középhőmérséklet és a maximumok átlaga is 0,3 °C körüli értékkel növekedett 10 évre vonatkoztatva, de ezen trendek nem szignifikánsak.

3. táblázat. A havi hőmérsékleti trendek Debrecenben az 1983–2022 közötti időszakban (°C/10 év)

Hónapok (1)	Középhőmérséklet (2)	Minimum hőmérséklet (3)	Maximum hőmérséklet (4)
Április (5)	0,17	0,10	0,44
Május (6)	-0,02	-0,03	0,11
Június (7)	0,90***	0,78***	0,98***
Július (8)	0,44*	0,46**	0,61*
Augusztus (9)	0,70***	0,58***	0,83**
Szeptember (10)	0,32	0,46*	0,34
Október (11)	0,30	0,42*	0,31

Megjegyzés: szignifikancia szintek - *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,1$ (Mann-Kendall teszt, Sen's estimator).

Table 3. Monthly temperature trends in Debrecen for the period 1983–2022 (°C/10 years). (1) Months, (2) Mean temperature, (3) Minimum temperature, (4) Maximum temperature, (5) April, (6) May, (7) June, (8) July, (9) August, (10) September, (11) October, Note: significance levels - *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$; + $p < 0,1$ (Mann-Kendall Trend Test, Sen's estimator).

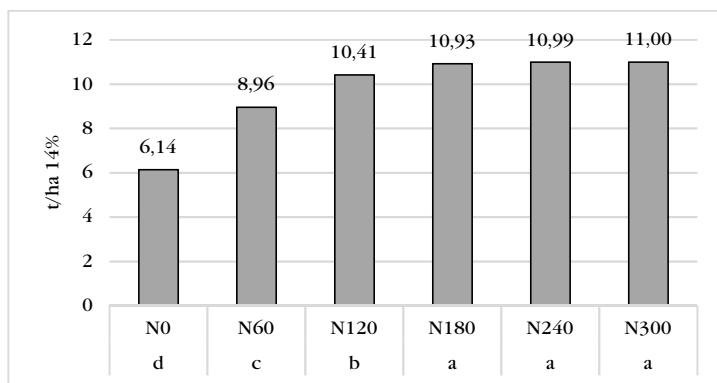
Terméseredmények

A kísérlet sokéves eredményei alapján megállapítottuk valamennyi nitrogéntrágyázási szint statisztikailag igazolt termésmenvelő hatását. A 300 kg/ha nitrogéndózis növelte a termést a legnagyobb mértékben, azonban a nitrogén hasznosítási hatékonysága elsődlegesen a 60 kg/ha kezelésben érvényesült, amely 45,8%-kal nagyobb termésmennyiséget okozott. A 180 és 300 kg/ha közötti kezelések között statisztikailag igazolható különbség nem figyelhető meg, valamint a 120 kg/ha kezeléshez képest szignifikáns, ugyanakkor minösszesen 0,52 t/ha terméstöbbletet eredményezett a többlet nitrogénműtrágya ráfordítás (2. ábra).

A műtrágyázás-öntözés kölcsönhatásának értékelése alapján igazoltuk a két tényező szinergista termésmenvelő hatását, amelyben az öntözés 8–26%-ban volt képest növelni a termés mennyiségét - a műtrágya hatásaival összhangban. A kontroll terméshozamát 0,5 t/ha mértékben növelte, ezáltal kijelenthető, hogy tápanyag-kijuttatás nélküli öntözéssel nincs lehetőség érdemi terméstöbbletet elérni. Ezzel szemben a növekvő műtrágyázás mellett

21–26% terméshozadást mértünk, amely a tápanyag- és vízellátottság együttes kedvező hatását bizonyította (3. ábra).

2. ábra. *Eltérő nitrogéntrágyázás hatása a kukorica termésmennyiségére (Debrecen-Látókép)*



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 2. The effect of different nitrogen fertilisation on maize yields (Debrecen-Látókép). Note: values with different lettering are statistically different from each other.

3. ábra. *A nitrogéntrágyázás és az öntözés terméshozadó hatása (Debrecen-Látókép)*

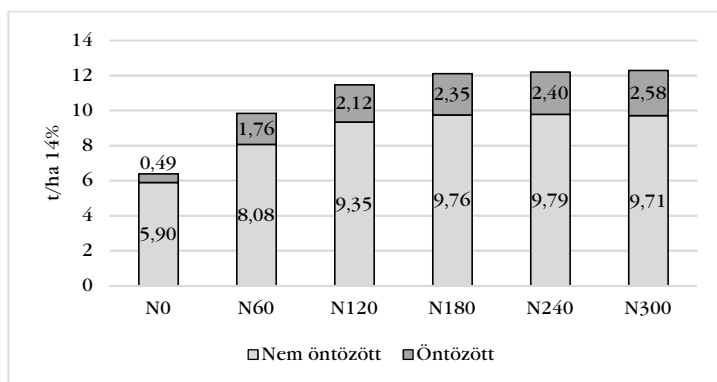


Figure 3. Effect of nitrogen fertilisation and irrigation on crop production (Debrecen-Látókép)
(1) Non-irrigated, (2) Irrigated

A tartamkísérlet fennállásának 40 éve során számos különböző agroklímatis sajátságokkal jellemezhető évjárat kukoricatermesztésre gyakorolt hatásait lehet vizsgálni (4. ábra). Az üzemi átlagos termesztéstechnológia műtrágyadózisának hatásvizsgálatához a 120 kg/ha N dózist értékeltük. Ez alapján megállapítottuk, hogy az egyes évek között jelentős, 6,89 t/ha termésmennyiség különbség is lehet, amely 93%-kal magasabb termésmennyiséget jelent. Az egyes évek összehasonlítása alapján a vizsgált periódusban egyenlő mértékben voltak jelen a kimagasló (12 t/ha felett), valamint az alacsonyabb (10 t/ha alatt) évek (12–12 évjárat), emellett pedig az évek 40%-a közepes, 10–12 t/ha közötti termésmennyiséggel volt jellemezhető, amely jól jellemzi a termőhely üzemi termesztéstechnológiával elérhető átlagos termésszintjét.

4. ábra. Üzemi nitrogéntrágyázási szint (120 kg/ha N) hosszú idősoros hatása a kukorica termésmennyiségére (Debrecen-Látókép, 1979–2021)

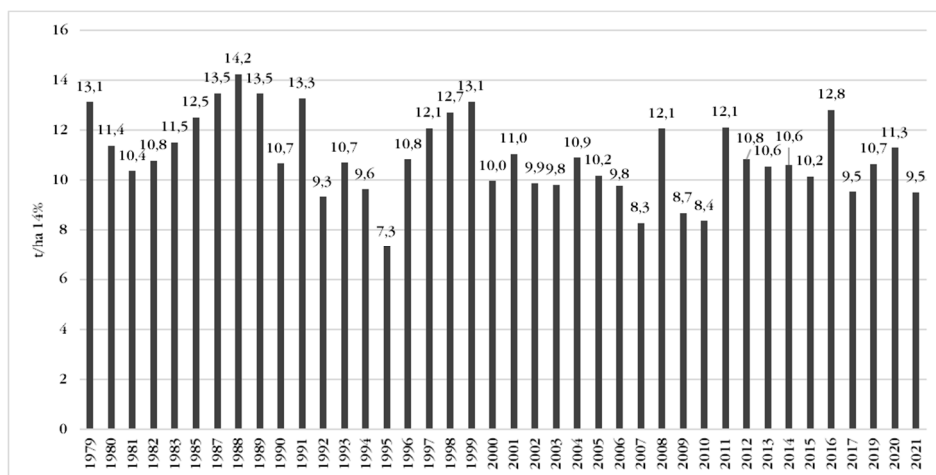


Figure 4. Long time series effect of farm nitrogen fertilisation level (120 kg N/ha) on maize yield (Debrecen-Látókép, 1979–2021)

A 40 év egy szűkebb szakaszát, a 2011–2021 közötti időszakot nem öntözött és öntözött kísérleti változatban egyaránt értékelve megállapítottuk, hogy öntözés nélküli termesztéstechnológia esetén az időjárási jellemzők a nem műtrágyázott kontroll parcellák termésmennyiségének stabilitását, valamint a kijuttatott műtrágya termésmenővelő hatását egyaránt nagymértékben

befolyásolták. A vizsgált évek során nagymértékű, 66%-os eltérést mértünk a kontroll, 56%-os eltérést a 120 kg/ha dózis, valamint 46% eltérést a 180 kg/ha műtrágyadózis szélsőértékei között, amely igazolja az évjáratok nagymértékű, termésmennyiségben megmutatkozó heterogenitását.

A műtrágyázás termésmnövelő hatása hasonlóan változott, 120 kg/ha műtrágyadózis kijuttatásával évjáratról függően 35–108%-os, 180 kg/ha dózissal pedig 42–131 % közötti termésmnövekedést értünk el, amely igazolja a nitrogén hasznosulási hatékonyságának más környezeti tényezőkkel történő összefüggését. A két vizsgált műtrágyadózis között érdemi termésmnövekedés egyedül a 2020-as évben volt, +1,31 t/ha többletet eredményezve (5. ábra).

5. ábra. Évjáratok sajátosságok a nitrogéntrágyázás termésmnövelő hatásában nem öntözött állományban (Debrecen-Látókép, 2011–2021)

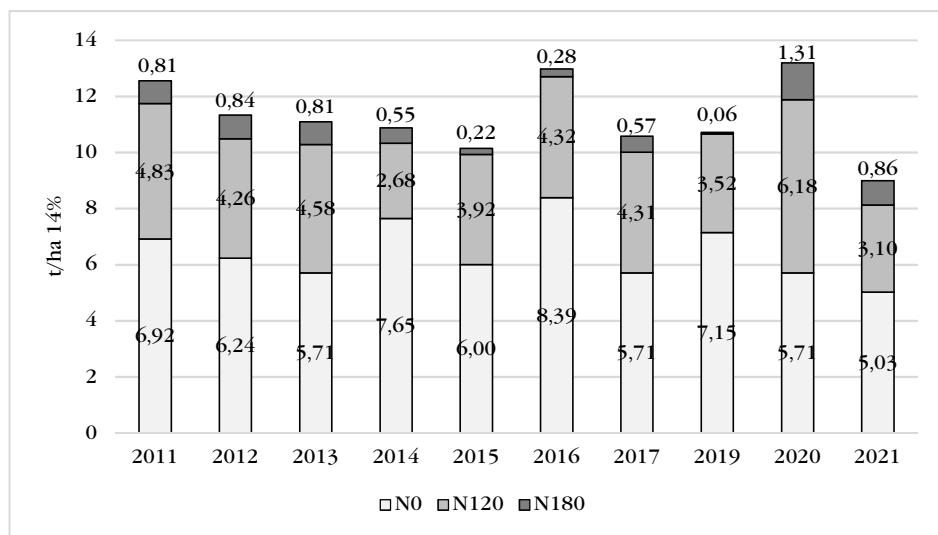


Figure 5. Crop year variation in the yield enhancing effect of nitrogen fertilisation in the non-irrigated stand (Debrecen-Látókép, 2011–2021)

Az öntözött kísérleti változatot értékelve megállapítottuk, hogy az optimális vízellátottság a kontroll, valamint a növekvő nitrogéndózisok esetében egyaránt termésstabilitást növelő hatást eredményezett, kisebb mérhető évjáratok változékonysággal a termésmennyiségben. Az egyes vizsgált évek között a kontroll parcellákban

44%, a 120 kg/ha nitrogéndózis esetében 29%, a 180 kg/ha dózisonál pedig 32% különbséget mértünk a termés mennyiségi szélsőértékei között. Az öntözés természetesen stabilizáló hatása a műtrágya hasznosítási hatékonyságában egyaránt megmutatkozott. A 120 kg/ha nitrogéndózis átlagosan 62–105%-kal, a 180 kg/ha nitrogéndózis pedig 57–112% mértékben növelte a kukorica termésmennyiségét a kontroll parcellákhoz képest. Az öntözés hatásával összhangban a vizsgált évek közül háromban is érdemi, +1,36 t/ha, +1,28 t/ha és +1,33 t/ha termésmenyeskedés volt a 180 kg/ha nitrogéndózis hatására a 120 kg/ha N kezeléshez képest (6. ábra).

6. ábra. Évjáráti sajátosságok a nitrogéntrágyázás termésmenyeselő hatásában öntözött állományban (Debrecen-Látókép, 2011–2021)

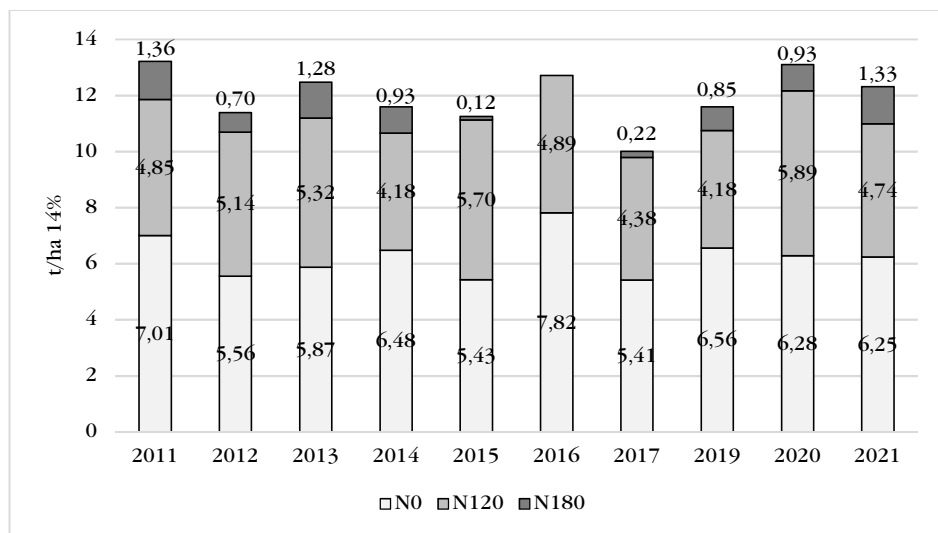


Figure 6. Crop year variation in the yield enhancing effect of nitrogen fertilisation in the irrigated stand (Debrecen-Látókép, 2011–2021)

Megjegyzés

Az NPK-tartamkísérletek eredményei a *Növénytermelés* c. folyóirat soron következő, 2023. decemberi számában jelennek meg.

Köszönetnyilvánítás

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

IRODALOM

- Bennett, J. M.–Mutti, L. S. M.–Rao, P. S. C.–Jones, J. W.:* 1989. Interactive effects of nitrogen and water stresses on biomass accumulation, nitrogen uptake, and seed yield of maize. *Field Crops Research*. 19. 4: 297–311.
- Cakir, R.:* 2004. Effect of water stress at different development stages on vegetative and reproductive growth of corn. *Field Crops Research*. 89. 1: 1–16.
- Kendall, M. G.:* 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London.
- Kim, D. H.–Yoo, C.–Kim, T. W.:* 2011. Application of spatial EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea. *Advances in Water Resources*. 34. 3: 340–350.
- Mann, H. B.:* 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*. 13: 245–259.
- Nagy J.:* 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest. 42–276.
- Nyéki, A.–Milics, G.–Kovács, A. J.–Neményi, M.:* 2017. Effects of Soil Compaction on Cereal Yield: A Review. *Cereal Res. Commun.* 45. 1: 1–22.
- Riedell, W. E.:* 2010. Mineral-nutrient synergism and dilution responses to nitrogen fertilizer in field-grown maize. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 173. 6: 869–874.
- Salmi, T.–Määttä, A.–Anttila, P.–Ruoho-Airola, T.–Amnell, T.:* 2002. Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and Sen's slope estimates MAKESENS – The excel template application. Finnish Meteorological Institute. Helsinki.
- 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.
- Tollenaar, M.–Lee, E. A.:* 2002. Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize. *Field Crops Research*. 75. 2–3: 161–169.

A tartamkísérletek eredményeiből jelen cikk szerzőinek közreműködésével megjelent legújabb publikációk jegyzéke az 57–62. oldalon található.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

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

Hadászi László
KITE Zrt. Innovációs Főigazgatóság
Nádudvar
Bem József u. 1.
H-4181

**A Debreceni Egyetem MÉK Földhasznosítási, Műszaki és
Precíziós Technológiai Intézetéhez szorosan kapcsolódó, a
tartamkísérletek eredményeiből az elmúlt öt évben megjelent
legújabb publikációk jegyzéke**

2018

Széles, A.-Harsányi, E.-Kith, K.-Nagy, J.: 2018. The effect of fertilisation and weather extremities caused by climate change on maize (*Zea mays* L.) yield in Hungary. *Journal of Agriculture Food and Development*. 4. 1: 1-9.

Széles, A.-Horváth, É.-Vad, A.-Harsányi, E.: 2018. The impact of environmental factors on the protein content and yield of maize grain at different nutrient supply levels. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 764-777. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2018.v30.i9.1800>

2019

Gombos B.-Nagy J.: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés*. 68. 2: 5-23.

Horváth, É.-Fejér, P.-Széles, A.: 2019. The impact of climatic factors on the relative chlorophyll content and yield of a maize hybrid in a long-term experiment. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 71-77.

Széles, A.-Fejér, P.-Harsányi, E.-Huzsvai, L.: 2019. Evaluation of Changes Caused by Genotypes and Weather on the Protein and Oil Content of Maize Grains in the Continental Climate of Central European Hungary. *Journal of Agriculture Food and Development*. 5: 22-32.

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. *Időjárás/Quarterly Journal Of The Hungarian Meteorological Service*. 123. 3: 265-278. <http://doi.org/10.28974/idojaras.2019.3.1>

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: 14.

2020

Bojtor Cs.–Illés Á.–Nagy J.–Marton L. Cs.: 2020. Nitrogéntrágyázás hatása eltérő kukorica hibridek szárazanyag-beépülésére és mikroelem-felvételére. *Növénytermelés*. 69. 3: 5–26.

Bramdeo, K.–Rátonyi, T.: 2020. Effect of tillage and fertiliser treatments on yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Columella*. 7. 1: 57–65.

Bramdeo, K.–Rátonyi, T.: 2020. Effect of tillage practices, fertilizer treatments and crop rotation on yield of maize (*Zea mays* L.) hybrids. *Acta Agraria Debreceniensis*. 2: 43–48.

Horváth, É.–Fejér, P.–Széles, A.: 2020. Examination of drought stress of two genotype maize hybrids with different fertilization. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 53–57.

Illés Á.–Bojtor Cs.–Nagy J.: 2020. Eltérő NPK-ellátottság hatása a kukorica hibridek lipidperoxidációjának mértékére. *Növénytermelés*. 69. 3: 53–65.

Illés, Á.–Bojtor, C.–Mousavi, S. M. N.–Marton, L. Cs.–Ragán, P.–Nagy, J.: 2020. Maize hybrid and nutrient specific evaluation of the population dynamics and damage of the western corn rootworm (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) in a long-term field experiment. *Progress in Agricultural Engineering Sciences*. 16. 1: 11–24. <https://doi.org/10.1556/446.2020.00003>

Illés, Á.–Mousavi, S. N.–Bojtor, Cs.–Nagy, J.: 2020. The plant nutrition impact on the quality and quantity parameters of maize hybrids grain yield based on different statistical methods. *Cereal Res. Commun.* 48: 565–573. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00074-5>

Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Bojtor, Cs.–Nagy, J.: 2020. The impact of different nutritional treatments on maize hybrids morphological traits based on stability statistical methods. *Emirates Journal of Food and Agriculture*. 666–672. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i9.2147>

- Nagy J.-Hadászi L.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Zelenák A.-Nyéki A.:* 2020. Fornad (FAO 420) "Smart" kukorica hibrid termesztési eredményei. *Növénytermelés.* 69. 2: 5-23.
- Nagy J.-Nyéki A.-Gombos B.:* 2020. A 2018-2019. évi időjárás elemzése szántóföldi tartamkísérletekben (Debrecen-Látókép). *Növénytermelés.* 69. 1: 21-31.
- Nagy Z.-Nagy J.:* 2020. Az agrometeorológiai tényezők értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletekben - 2019/2020. *Növénytermelés.* 69. 3: 5-22.
- 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. [https://doi.org/ 10.15159/ar.20.161](https://doi.org/10.15159/ar.20.161)
- 2021
- Bojtor, Cs.-Illés, Á.-Horváth, É.-Nagy, J.-Marton, L. Cs.:* 2021. Hybridspecific nutrient interactions and their role in maize yield quality. *Agronomy Research.* 19. 4: 1698-1710. [https://doi.org/ 10.15159/ar.21.148](https://doi.org/10.15159/ar.21.148)
- Bojtor, Cs.-Illés, Á.-Mousavi, S. M. N.-Széles, A.-Tóth, B.-Nagy, J.-Marton, Cs. L.:* 2021. Evaluation of the nutrient composition of maize in different NPK fertilizer levels based on multivariate method analysis. *International Journal of Agronomy.* 1-13. <https://doi.org/10.1155/2021/5537549>
- Bojtor, Cs.-Mousavi, S. M. N.-Illés, Á.-Széles, A.-Nagy, J.-Marton, Cs. L.:* 2021. Stability and adaptability of maize hybrids for precision crop production in a long-term field experiment in Hungary. *Agronomy.* 11. 11: 2167. [https:// doi.org/10.3390/agronomy11112167](https://doi.org/10.3390/agronomy11112167)
- Horváth D.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Széles A.-Nagy J.:* 2021. Eltérő kukorica (*Zea mays* L.) genotípusok relatív klorofilltartalma és termésparaméterei közötti összefüggésvizsgálat multifaktoriális trágyázási tartamkísérletben. *Növénytermelés.* 70. 3: 7-23.

- 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. <https://doi.org/10.15159/ar.21.073>
- Horváth, É.-Tamás, A.-Fejér, P.-Széles, A.:* Effect of different N doses on maize yield and quality. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 97–101.
- 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: 2129. <https://doi.org/10.3390/agronomy11112129>
- Illés, Á.-Bojtor, Cs.-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. <https://doi.org/10.1155/2021/6682573>
- Illés, Á.-Bojtor, Cs.-Széles, A.-Mousavi, S. M. N.-Tóth, B.-Nagy, J.:* 2021. Effect of nitrogen fertiliser on the rate of lipid peroxidation of different maize hybrids in a long-term multifactorial experiment. *Acta Alimentaria*. 50. 2: 162–169. <https://doi.org/10.1556/066.2020.00177>
- Mousavi, S. M. N.-Bojtor, Cs.-Illés, Á.-Nagy, J.:* 2021. Genotype by trait interaction (GT) in maize hybrids on complete fertilizer. *Plants*. 10. 11: 2388. <https://doi.org/10.3390/plants10112388>
- Mousavi, S. M. N.-Nagy, J.:* 2021. Evaluation of plant characteristics related to grain yield of FAO410 and FAO340 hybrids using regression models. *Cereal Res. Commun.* 49. 161–169. <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00076-3>
- Szabó A.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Széles A.-Zelenák A.-Nagy J.:* 2021. Az amerikai kukoricabogár (*Diabrotica virgifera virgifera* LeConte) lárvakártétel hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésének mennyiségi és minőségi paramétereire szántóföldi tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 70. 3: 41–62.
- Szabó, A.-Illés, Á.-Bojtor, Cs.-Bakos, Zs.-Nagy, J.:* 2021. Effect of the different nitrogen supply on the leaf area index and yield parameters of maize. *Növénytermelés*. 70. 3: 117–120.

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. <https://doi.org/10.15159/ar.21.151>

2022

Bojtor, Cs.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Golzardi, F.–Széles, A.–Szabó, A.–Nagy, J.–Marton, Cs. L.: 2022. Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilisation systems. *Plants*. 11. 12: 1593. <https://doi.org/10.3390/plants11121593>

Fejér, P.–Széles, A.–Horváth, É.–Rátónyi, T.–Ragán, P.: 2022. Effects of some agronomic practices on the quality of starch content of maize grains. *Agronomy Research*. 20. 1: 124–133. <https://doi.org/10.15159/ar.22.006>

Gombos B.–Nagy J.: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészedőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. *Növénytermelés*. 71. 1: 7–20.

Huzsvai, L.–Mohammed, S.–Harsányi, E.–Széles, A.: 2022. Novel Approach for Statistical Interpretation: A Case Study from Long-Term Crop Production Experiments (Hungary). *Horticulturae*. 8. 1: 48. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8010048>

Illés Á.–Bojtor Cs.–Szabó A.–Nagy J.: 2022. Eltérő agrotechnikai paraméterek hatása a különböző kukoricahibridek kelésdinamikai és termésparamétereire szántóföldi tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 71. 1: 21–32.

Mohammed, S.–Mirzaei, M.–Pappné Törő, Á.–Anari, M. G.–Moghiseh, E.–Asadi, H.–Szabó, S.–Kakuszi-Széles, A.–Harsányi, E.: 2022. Soil carbon dioxide emissions from maize (*Zea mays* L.) fields as influenced by tillage management and climate. *Irrigation and Drainage*. 71. 1: 228–240. <https://doi.org/10.1002/ird.2633>

Nyéki A.–Zelenák A.–Szabó A.–Nagy J.: 2022. A CERES-Maize modell terméshozam szimulációja a látóképi kísérlet adatbázisával. *Növénytermelés*. 71. 3–4: 133–145.

- Szabó, A.–Mousavi, S. M. N.–Bojtor, Cs.–Ragán, P.–Nagy, J.–Vad, A.–Illés, Á.:* 2022. Analysis of nutrient-specific response of maize hybrids in relation to leaf area index (LAI) and remote sensing. *Plants*. 11. 9: 1197. <https://doi.org/10.3390/plants11091197>
- Szabó, A.–Széles, A.–Illés, Á.–Bojtor, Cs.–Mousavi, S. M. N.–Radócz, L.–Nagy, J.:* 2022. Effect of different nitrogen supply on maize emergence dynamics, evaluation of yield parameters of different hybrids in long-term field experiments. *Agronomy*. 12. 2: 284. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020284>
- Széles A.–Horváth É.–Zagy P.–Balaout I.–Simon K.:* 2022. A kukorica hibridek fenológiájának, szemtermésének, hő- és vízhasznosítási hatékonyságának alakulása az éghajlati tényezők hatására. *Növénytermelés*. 71. 3–4: 225–239.
- Zagy P.–Rácz D.–Tamás A.–Vad A.–Horváth É.–Széles A.:* 2022. A relatív klorofilltartalom és a termésmennyiség kapcsolatának vizsgálata eltérő genotípusú kukorica hibridekben. *Növénytermelés*. 71. 2: 101–120.
- Zelenák, A.–Szabó, A.–Nagy, J.–Nyéki, A.:* 2022. Using the CERES-Maize Model to Simulate Crop Yield in a Long-Term Field Experiment in Hungary. *Agronomy-Basel*. 12. 4: 1–16. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040785>

2023

- Nagy J.–Zelenák A.–Illés Á.–Bojtor Cs.–Gombos B.–Szabó A.–Nyéki A.–Széles A.:* 2023. Eltérő FAO-számú kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésparamétereinek elemzése öntözött állományban. *Növénytermelés*. 72. 1: 69–84.
- Tamás, A.–Kovács, E.–Horváth, É.–Juhász, Cs.–Radócz, L.–Rátonyi, T.–Ragán, P.:* 2023. Assessment of NDVI Dynamics of Maize (*Zea mays* L.) and Its Relation to Grain Yield in a Polyfactorial Experiment Based on Remote Sensing. *Agriculture*. 13. 3: 689. <https://doi.org/10.3390/agriculture13030689>

Debreceni tartamkísérletek 40 éves eredményei

PEPÓ PÉTER

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytudományi Intézet, Debrecen

Bevezetés

A növénytermesztés technológiai folyamatában az adott növény termésmennyiségére, termésbiztonságára és termésminőségére jelentős számú ökológiai, biológiai és antropogén (agrotechnikai) tényező hat. Ezek a tényezők egyenként, individuálisan is jelentős mértékben tudják befolyásolni a kultúrnövények termésképződési folyamatait, de még nagyobb számú azon kapcsolatok sokasága, amelyek a tényezők közötti kölcsönhatások eredményeként jelennek meg. Szükség van tehát szabatos, ellenőrzött feltételek mellett beállított szántóföldi kísérletekre, amelyek lehetőséget nyújtanak egy-egy, vagy több tényező termésképződésre gyakorolt hatásainak pontos meghatározására. A növénytermesztési fejlesztések mellett alapadatokat, nélkülözhetetlen információkat szolgáltatnak a növénynevelés, a talajtan, az agrokémia, a növényvédelem és egyéb diszciplínák adatbázisához, ugyanakkor jelentősen hozzájárulnak a szaktanácsadási munkához, a klímaváltozás hatásainak meghatározásához, illetve az ahhoz történő adaptációhoz, a környezetvédelmi feladatok, az élelmiszerbiztonsági problémák megoldásához is.

A tartamkísérletek különleges értéket képviselnek a növénytermesztési diszciplínákban. A növénytermesztés az elmúlt évtizedek során egyre inkább multidiszciplináris tudománnyá alakult át, amelyben egyesülnek az alap-alapozó (növénytan, növényélettan, talajtan, agrokémia, agrometeorológia stb.) és alkalmazotti diszciplínák (növénykórtan, herbológia, növényvédelmi állattan, műszaki ismeretek, földművelés, élelmiszertudomány stb.). A tartamkísérletek nemzeti értéket képviselnek és a fejlettebb országokban ennek megfelelő erkölcsi, tudományos és anyagi megbecsülést is kapnak. Sajnos ez Magyarországon nem így van. Egy-

egy kutató, egyetemi oktató elszántsága, jövőbe vetett hite kell ahhoz, hogy ezek a tartamkísérletek fennmaradjanak, tovább folytatódjanak. Egyúttal azt is hangsúlyozni szükséges, hogy a tartamkísérletek eredményei messze túlmutatnak az agrárium területein. Napjainkban, de még inkább a jövőben a tartamkísérletekben elért eredmények hasznosan szolgálhatják a társadalmi-politikai döntéseket (pl. foglalkoztatottság, társadalmi rétegek helyzete, munkaerő piaci trendek stb.), a műszaki-innovációs fejlesztéseket (új gépek, precíziós technológiák stb.), a klímaváltozások negatív hatásainak mérséklését, a környezetvédelmi döntéseket és még hosszan folytathatnánk a felsorolást.

A Debrecen-Látóképi Kísérleti Telepet 1983. évben létesítettük, ebben az évben kerültek a tartamkísérletek is beállításra. A tartamkísérletek létesítésében sok-sok szakember vett részt, közülük is kiemelkedő szerepet játszott Dr. Bocz Ernő, Dr. Ruzsányi László, Dr. Nagy János és Dr. Pepó Péter. A tartamkísérletek alapítása tehát 40 évre tekint vissza. Ez alatt az idő alatt nagyon sok oktató, kutató, technikus kapcsolódott be a mindennapi munkába közülük Dr. Vad Attila és Török Tamás személye emelhető ki. A tartamkísérletek olyan alapot jelentenek, melyre szilárdan építhettek a tárdiszciplínák kutató-oktatói (földművelésan, genetika, talajtan, agrokémia, agrometeorológia, növényvédelem stb.).

Az elmúlt 40 év alatt sok-sok millió kísérleti adat került rögzítésre és feldolgozásra, melyek közül csak a legfontosabbak bemutatására nyílik lehetőség a korlátozott terjedelem miatt.

Anyag és módszer

A kísérleti telep Kelet-Magyarországon, a Hajdúságban található (É.sz. 47°33' K.h. 21°27'). A kísérleti telep területe kiegyenlített, homogén, ami kiváló lehetőséget biztosított a tartamkísérletek és egyéb kísérletek beállítására.

A kísérleti telep talaja a hajdúsági löszháton kialakult mészlepedékes csernozjom talaj. A kísérletek indulása (1983. év) előtt elvégzett talajvizsgálati eredmények (*1. táblázat*) azt bizonyították, hogy a terület talajfizikailag a vályog kategóriába sorolható ($A_k=43-45$). A humusztartalma átlagos ($Hu\%=2,7-2,8$), a humuszréteg vastagsága 80 cm körüli. A felső talajrétegek kémhatása közel semleges ($pH_{KCl}=6,4-6,6$). A mészlepedékes talaj foszfor-ellátottsága közepes (AL-oldható P_2O_5 133 mg/kg), a káliumellátottsága pedig közepes-jó (AL-oldható K_2O 240 mg/kg).

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

Talaj-réteg (cm)	pH (KCl)	K _A	CaCO ₃ (%)	Hu-musz (%)	Össz. N (%)	NO ₃ ⁺ NO ₂ (mg/kg)	P ₂ O ₅ AL-oldható (mg/kg)
0-25	6,46	43,0	0	2,76	0,150	6,20	133,4
25-50	6,36	44,6	0	2,16	0,120	1,74	48,0
50-75	6,58	47,6	0	1,52	0,086	0,60	40,4
75-100	7,27	46,6	10,25	0,90	0,083	1,92	39,8
100-130	7,36	45,4	12,75	0,59	0,078	1,78	31,6

Talaj-réteg (cm)	Mg (mg/kg)	Na (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Mn (mg/kg)	SO ₄ (mg/kg)	K ₂ O AL-oldható (mg/kg)
0-25	332,4	38,0	2,80	5,86	438	9,25	239,8
25-50	405,4	66,2	0,80	4,54	406	9,13	173,6
50-75	366,6	55,4	0,58	3,64	339	10,80	123,0
75-100	249,0	67,8	0,48	2,24	74	7,95	93,6
100-130	286,6	62,6	0,84	1,64	4	22,98	78,0

Kedvezőek a talaj vízgazdálkodási jellemzői is (2. táblázat). A talaj térfogat-tömege a művelt rétegekben 1,40-1,45 g/cm³, az alsóbb rétegekben pedig 1,25-1,29 g/cm³. A pórustérfogat 46-54% között változik a talajszelvényben. A kísérleti terület talaja kedvező vízbefogadó és víztartó képességgel rendelkezik. A növények vízellátása szempontjából mértékadó 0-200 cm talajrétegben a VK_{min}-ig telített talaj 600-650 mm vizet képes befogadni, amelynek mintegy 50-60%-át teszi ki a diszponibilis víz (DV). A talajvíz átlagos mélysége 3-5 m, még csapadékos évjáratban sem emelkedik 2 m fölé.

Az éghajlati-időjárási feltételeket a kontinentális és gyakran szélsőséges viszonyok jellemzik. Különösen igaz ez a lehulló csapadék mennyiségére és annak eloszlására, de szélsőséges viszonyok tapasztalhatók a hőmérsékleti értékek alakulásában mind a vegetációs perióduson belül, mind azon kívül. A csapadék 30 éves átlaga 548,6 mm, amely trendjében folyamatos csökkenést mutat az elmúlt évtizedekben (3. táblázat). A legcsapadékosabb hónap a július (68,7 mm), míg a legszárazabb a január (29,2 mm). A sokévi éves átlaghőmérséklet 10,6 °C (3. táblázat), amely tendenciájában növekedést mutat. A leghidegebb hónap a január (-1,0 °C), míg a legmelegebb a július (21,3 °C).

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

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

3. táblázat. *A meteorológiai feltételek változása a tartamkísérletekben (Debrecen-Látókép)*

Hónap	Csapadék (mm)			Havi középhőmérséklet (°C)		
	1961-1990	1981-2010	1991-2020	1961-1990	1981-2010	1991-2020
Január	37,0	29,7	29,2	-2,6	-1,4	-1,0
Február	30,2	31,0	35,2	0,2	0,1	0,7
Március	33,5	30,2	30,5	5,0	5,1	5,6
Április	42,4	52,8	44,0	10,7	11,1	11,7
Május	58,8	64,0	54,3	15,8	16,6	16,4
Június	79,5	66,5	64,6	18,7	19,4	19,9
Július	65,7	66,1	68,7	20,3	21,3	21,3
Augusztus	60,7	49,0	49,7	19,6	20,7	21,1
Szeptember	38,0	47,5	48,5	15,8	15,8	15,9
Október	30,8	37,9	41,0	10,3	10,4	10,4
November	45,2	41,6	39,7	4,5	4,6	5,2
December	43,5	43,7	43,2	-0,2	-0,1	0,1
Átlag (°C)	-	-	-	9,8	10,3	10,6
Összesen (mm)	565,3	560,1	548,6	-	-	-

Polifaktoriális tartamkísérlet

A polifaktoriális tartamkísérlet beállítása, kezelései

A szántóföldi növények termés mennyiségét, minőségét, termésstabilitását, agronómiai és növényfiziológiai folyamatait az ökológiai feltételek, az alkalmazott genotípus (fajta/hibrid), valamint az agrotechnikai elemek nem külön-külön, hanem egymással szoros kölcsönhatásban határozzák meg. Célszerű ezért ezeket a tényezőket együttesen magukba foglaló olyan kísérletekben vizsgálni, amelyben a kezelések állandóak. Ilyen polifaktoriális tartamkísérletben vizsgáljuk a hazánkban legnagyobb területen termesztett szántóföldi növényfajok (őszi búza, kukorica) agronómiai reakcióit (kiegészítve a borsóval [szójával], vetésváltási okok miatt).

A polifaktoriális tartamkísérlet 1983. évben került beállításra. A kísérlet split-split-plot elrendezésű, az ismétlések száma négy. A kísérlet teljes területe 100 500 m² (10,5 ha), a kísérletben vizsgált parcellák bruttó területe 46 m². A kísérletben 1080 parcella vizsgálatát végezzük. A kísérletből származó adatok (több százezer adat) olyan adatbázist jelentenek, amely értékelésével részben új tudományos, részben új gyakorlati eredményekhez juthatunk. A polifaktoriális tartamkísérletben a következő tényezők vizsgálatát végezzük:

- Vetésváltás
 - monokultúra (kukorica termesztése 1983. év óta)
 - bikultúra (búza-kukorica vetésváltás évenként)
 - trikultúra (borsó [szója]-búza-kukorica vetésváltás)
- Tápanyagellátás

A vizsgált szántóföldi növényfajok specifikus igényeit figyelembe véve a tartamkísérletben alkalmazott műtrágya adagok. A P és K adagokat 100%-ban, a N adagok 50%-át ősszel, a N második 50%-át tavasszal juttatjuk ki.

	Műtr. kezelés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		(kg/ha)		
Búza	1	0	0	0
	2	50	35	40
	3	100	70	80
	4	150	105	120
	5	200	140	160

	Műtr. kezelés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		(kg/ha)		
Kukorica	1	0	0	0
	2	60	45	45
	3	120	90	90
	4	180	135	135
	5	240	180	180

	Műtr. kezelés	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		(kg/ha)		
Borsó	1	0	0	0
	2	35	30	25
	3	70	60	50
	4	105	90	75
	5	140	120	100

- Vízellátás

Ö₁ = öntözés nélkül (természetes csapadék)

Ö₂ = a vízhiány 50%-ának visszapótlása öntözéssel

Ö₃ = a vízhiány 100%-ának visszapótlása öntözéssel

A kezelések 2020. tavaszától a következőkre módosultak:

Ö₁ = öntözés nélkül (természetes csapadék)

Ö₂ = öntözés nélkül + meszezés (2020. tavaszán 6,0 t/ha CaCO₃)

Ö₃ = öntözés

- Növényfaj specifikus kezelések

– Búza

Eltérő intenzitású növényvédelmi modellek

- extenzív
- átlagos
- intenzív

– Kukorica

Eltérő állománysűrűség alkalmazása

- 40 ezer növény/ha
- 60 ezer növény/ha
- 80 ezer növény/ha

- Borsó
 - Eltérő vetésidők
 - korai vetésidő
 - átlagos vetésidő
 - megkésett vetésidő

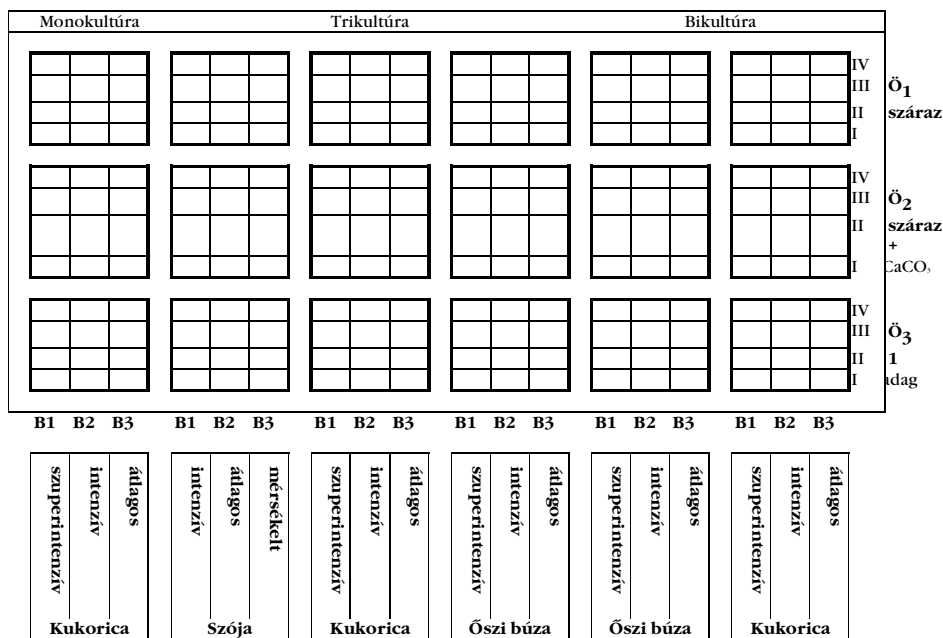
A kezelések 2019. őszétől a következők szerint módosultak:

- Búza - növénytermesztési modellek
 - átlagos
 - intenzív
 - szuperintenzív
- Kukorica - növénytermesztési modellek
 - átlagos
 - intenzív
 - szuperintenzív
- Szója - növénytermesztési modellek
 - mérsékelt
 - átlagos
 - intenzív

A polifaktoriális tartamkísérlet elrendezését az *1. ábra* tartalmazza.

A tartamkísérlet hosszú időtartama (40 év), a kísérletben vizsgált agrotechnikai tényezők fontossága és száma (négy tényező) lehetőséget biztosít arra, hogy a növénytermesztési térben lejátszódó folyamatokat nyomon tudjuk követni, valamint feltárjuk azokat az ok-okozati összefüggéseket, amelyek az adott növény termésének változását előidézték. A tartamkísérlet lehetőséget nyújt interdiszciplináris kutatások elvégzésére is. Ezek közül a legjelentősebbek a talajtani, agrokémiai, talajökológiai, mikrobiológiai, növényvédelmi, élelmiszer-alapanyag minőségi, környezetvédelmi, precíziós technológiai kutatások. A tartamkísérletben végzett vizsgálatokat az alábbi nagyobb csoportokra oszthatjuk fel: - talaj vízháztartási kutatások, - talaj tápanyagháztartási kutatások, - in situ növényélettani vizsgálatok, - agronómiai, növénykórtani megfigyelések, - termésmennyiségek elemzése, - termésminőség vizsgálatok, - növényi modellek statikai és dinamikai elemzése.

1. ábra. Polifaktoriális szántóföldi tartamkísérlet



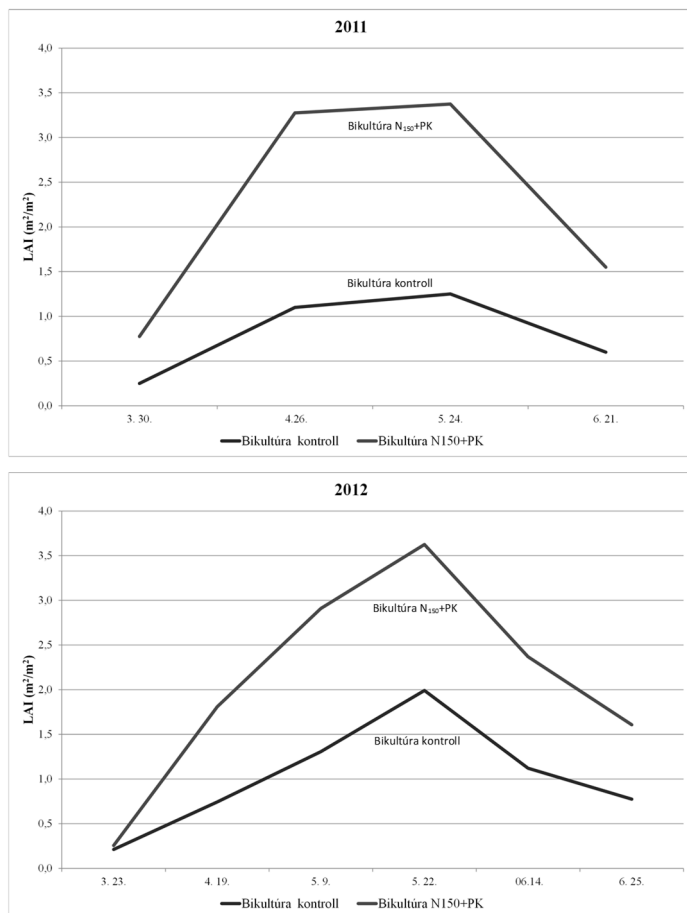
A polifaktoriális tartamkísérlet talaja mészlepedékes csernozjom talaj, amely kiváló vízháztartási tulajdonságok jellemeznek (kedvező vízbefogadó- és víztartó képesség, jelentős a szántóföldi vízkapacitása [$V_{k_{min}}$], illetve Azon belül a szántóföldi növények rendelkezésére álló hasznos, diszponibilis víz [DV] mennyisége). A tenyészidőn kívül lehullott csapadék mennyiségének a csernozjom talajban tárolt része igen jelentős a természetett növények vízellátása szempontjából. Fontos az is, hogy az öntözéssel kijuttatott víz és a vegetációs periódusban lehullott csapadék jelentős része is kedvezően hasznosul a csernozjom talaj kiváló vízháztartása következtében.

Eredmények

A polifaktoriális tartamkísérletben végzett *in situ* növényfiziológiai mérések elsősorban a növényállományok fotoszintetikus kapacitásának, illetve annak dinamikai változásának a meghatározására irányulnak. A hosszú idő óta folytatott kutatások eredményei azt bizonyították, hogy a

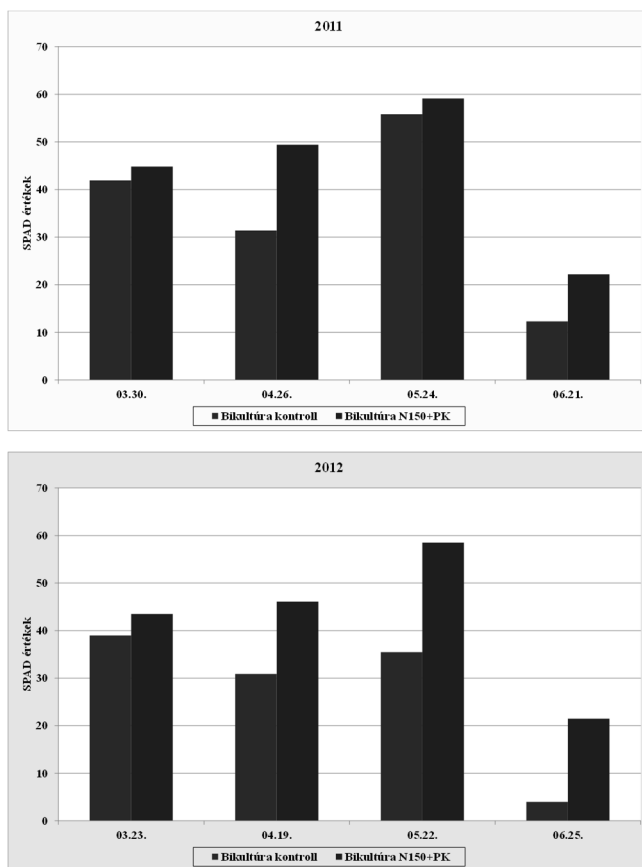
növényállományok levélterületét (LAI), annak dinamikáját, ill. maximális értékeit (LAI_{max}) az évjárat mellett a tápanyagellátás és részben a vetésváltás befolyásolta. Kedvező LAI_{max} és LAI dinamikát a búza és a kukorica esetében is a diverzifikált vetésváltásban és a növényfajra jellemző optimális NPK adagnál kaptuk (2. ábra).

2. ábra. Az évjárat, a vetésváltás és a tápanyagellátás hatása a búza levélterület index (LAI) értékeire (Debrecen, csernozjom talaj, Vári E.–Pepó P.)



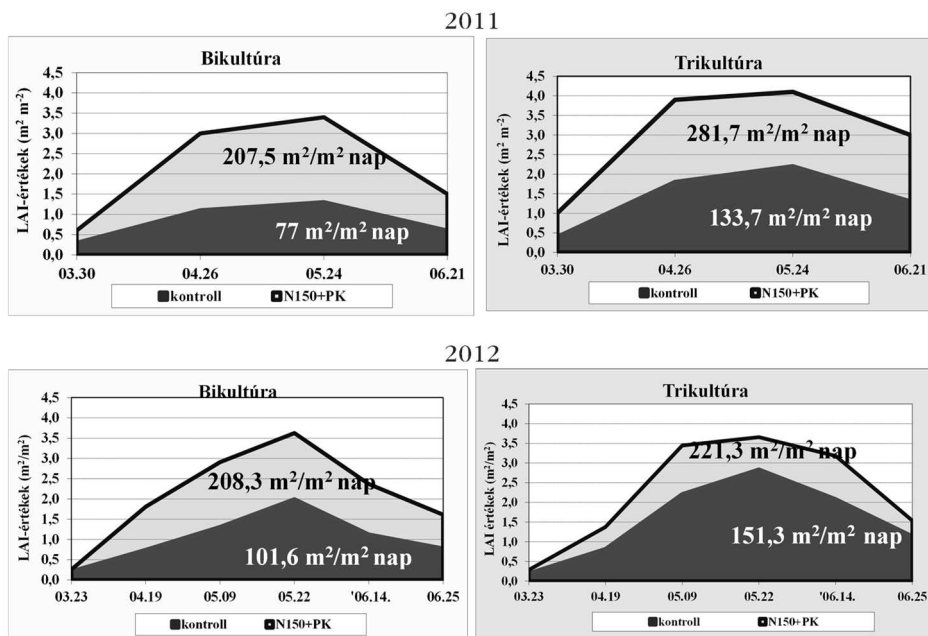
Vizsgálataink azt bizonyították, hogy az ökológiai (időjárás) és agrotechnikai tényezők (trágyázás, vetésváltás) a búza és kukorica SPAD értékeit is befolyásolta (3. ábra). A SPAD értékekből a relatív klorofilltartalomra lehet következtetni. A kedvezőbb LAI és SPAD értékek együtt a növényállományok nagyobb fotoszintetikus kapacitását eredményezték, amely a terméseredményben is megnyilvánult.

3. ábra. Az évjárat, a vetésváltás és a tápanyagellátás hatása a búza relatív klorofilltartalmára (SPAD értékek) (Debrecen, csernozjom talaj, Vári E.–Pepó P.)



Növekedésanalízis (growth-analysis) vizsgálataink eredményei azt bizonyították, hogy a növekedés-analízis paramétereit (LAD, CGR, RGR, HI) hatékonyan használhatjuk egyrészt a növényállomány fejlettségének, illetve fejlődési dinamikájának a jellemzésére, valamint – megfelelő fenofázisokban – a terméseredmények prognosztizációjában. A búza állományok LAD értékeit az évjárat mellett a trágyázás és vetésváltás is befolyásolta (4. ábra).

4. ábra. Az évjárat, a vetésváltás és a tápanyagellátás hatása a búza levélterület-tartósságára (LAD = Leaf Area Duration)
(Debrecen, csernozjom talaj, Vári és Pepó)



Az ökológiai (évjárat) és az agrotechnikai tényezők interaktív hatásait a legkomplexebb módon a terméseredményben bekövetkezett változások jellemzik. Kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy a kedvezőtlen vetésváltás (monokultúra) a kukorica termését a legnagyobb mértékben aszályos évjáratban csökkentette. A kukorica természintje a kedvező vízellátás esetén megfelelő trágyaadagok alkalmazása mellett közel azonos volt. A trágyázás

termésnövelő hatása a monokultúrában volt a legnagyobb. A trágyázás terméstöbbletét az évjárat vízellátottsága befolyásolta kukoricánál (4. táblázat).

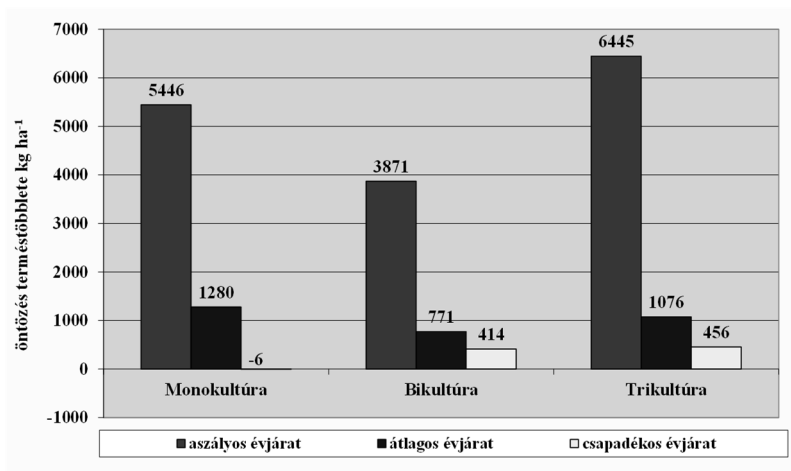
4. táblázat. Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása a kukorica termésére (Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2022)

Mtr. kezelés	Termés (kg/ha)					
	Aszályos (14 év, 37%)		Átlagos (18 év, 47%)		Csapadékos (6 év, 16%)	
	Monokultúra					
Kontroll	3616	+1328	6061	+4580	7538	+5476
N _{opt} +PK	4944		10641		13014	
	Bikultúra					
Kontroll	7249	+933	9505	+2829	10208	+2319
N _{opt} +PK	8182		12334		12599	
	Trikultúra					
Kontroll	6585	+897	9839	+2041	10221	+2574
N _{opt} +PK	7482		11880		12795	

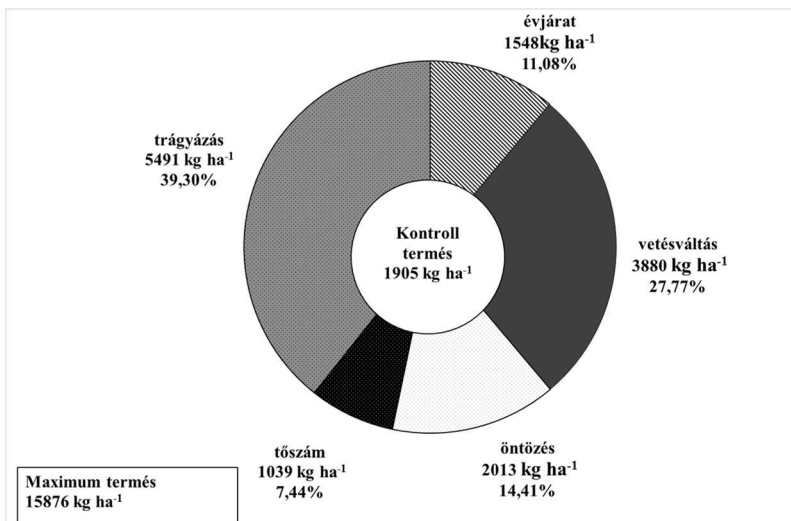
Az optimális műtrágya adag kukoricánál monokultúrában N₁₈₀₋₂₄₀+PK, bikultúrában N₁₂₀₋₁₈₀+PK, trikultúrában N₆₀₋₁₂₀+PK volt évjáratától függően. A kukorica öntözési terméstöbbletét az évjárat jellege döntötte el. Kedvező öntözési terméstöbbletet aszályos évjáratban kaptunk (3900–6400 kg/ha vetésváltástól függően), míg átlagos vízellátottságú évjáratban az öntözési terméstöbblet szerény mértékű (800–1300 kg/ha) volt (5. ábra).

A hatalmas adatbázis lehetőséget nyújtott arra, hogy elvégezzük az egyes tényezők hatásának egzakt meghatározását. Tartamkísérletünk eredményei azt bizonyították, hogy a kukorica termésnövekedését a trágyázás 39%-ban, a vetésváltás 28%-ban, az öntözés 14%-ban, az állománysűrűség 7%-ban, az évjárat pedig 11%-ban határozta meg (6. ábra).

5. ábra. Az öntözés terméstöbblete kukoricánál eltérő évjáratban és vetésváltásban (Debrecen, 1986–2022)

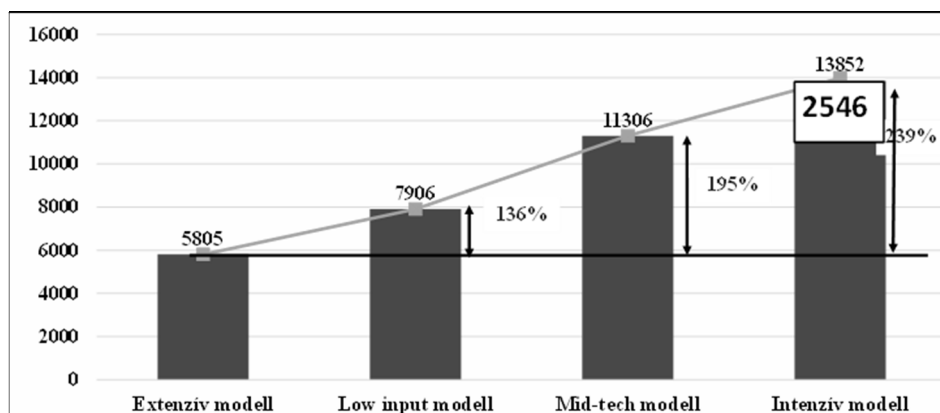


6. ábra. Az évjárat és az agrotechnika szerepe a kukoricatermesztésben (Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2013)



A polifaktoriális tartamkísérleteink eredményei alapján olyan, eltérő intenzitású kukoricatermesztési modelleket állítottunk össze, amelyeket eltérő termőhelyi feltételek mellett, különböző genotípusú kukorica hibrideknél lehet eredményesen alkalmazni. A kukorica növényi modellek azt bizonyították, hogy a kukorica kifejezetten igényli és meghálálja az intenzív termesztéstechnológiát. Az extenzív termesztési modellhez képest mérsékelt (+36%) terméstöbbletet eredményezett a low input modell alkalmazása, relatíve jelentős volt a mid-tech modell terméstöbblete (+95%) is. Az intenzív kukorica modell esetében a terméshozadék (+139%) igen jelentős mértékű volt (7. ábra).

7. ábra. Technológiai modellek hatása a kukorica termésére (kg/ha)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2022)

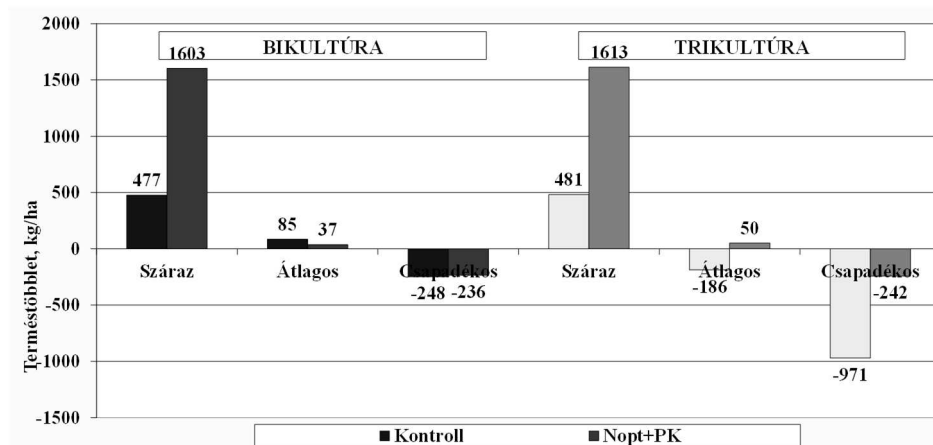


A polifaktoriális tartamkísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy az őszi búza ökológiai (évjárat) és agrotechnikai reakciója jelentősen eltért a kukoricával összehasonlítva. A búza termését az évjárat jelentősen befolyásolta. A legnagyobb termést átlagos vízellátottságú évjáratban kaptuk (5. táblázat). Mind a szárazabb (a tápanyag- és vízfelvétel korlátozottsága miatt), mind a csapadékos (a jelentős növénykórtani problémák és az állományok megdőlése miatt) évjáratban az őszi búza termése elmaradt az átlagos évjáratok termésszintjétől. A tartamkísérleteink egyértelműen azt bizonyították, hogy az őszi búza öntözési terméstöbblete (1600–1700 kg/ha), öntözési reakciója még száraz évjáratban is szerény mértékű (8. ábra).

5. táblázat. *Vetésváltás, évjárat, trágyázás hatása az őszi búza termésére (Debrecen, csernozjom talaj, nem öntözött, 1986–2022)*

Mtr. kezelés	Termés (kg/ha)					
	Aszályos (10 év, 26%)		Átlagos (23 év, 61%)		Csapadékos (5 év, 13%)	
	Bikultúra					
Kontroll	1900	+3805	2482	+5722	3162	+2257
N _{opt} +PK	5705		8204		5419	
	Tri kultúra					
Kontroll	4409	+2828	5551	+3219	4885	+1305
N _{opt} +PK	7237		8770		6190	

8. ábra. *Az öntözés terméstöbblete őszi búzánál (Debrecen, csernozjom talaj, 1986–2022)*

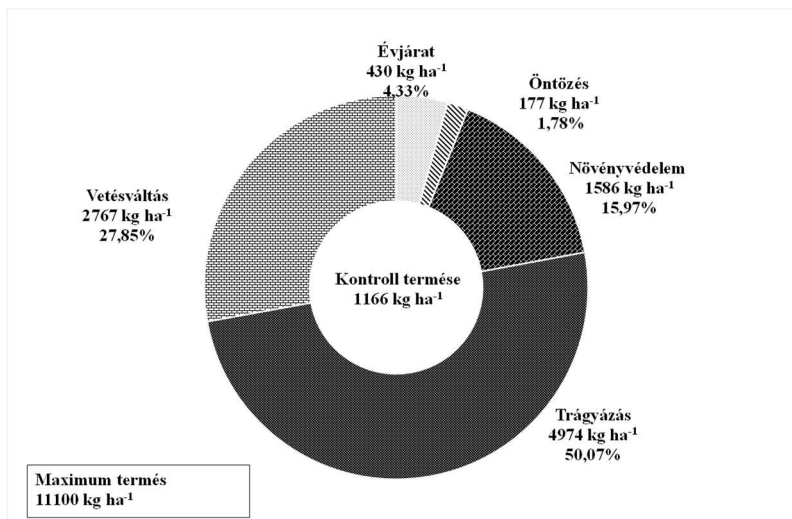


Őszi búzát öntözni ezért csak kivételes esetekben, az állományok életben tartása, megmentése esetén célszerű végezni. Igen jelentős volt a vetésváltás hatása az őszi búza termésére. Tri kultúra vetésváltásban a kontroll (műtrágya nélküli) kezelésekben a búza 1,8–3,1 t/ha-ral meghaladta a bikultúrában kapott

terméseredményeket. Ezt a különbséget a vetésváltási rendszerek között jelentős mértékben csökkenteni lehetett optimális műtrágya adagok alkalmazásával. Őszi búzánál optimális műtrágya adagnak bikultúrában az $N_{150-200}+PK$, trikultúrában pedig az $N_{50-100}+PK$ adag bizonyult. A növényvédelem is jelentős módon befolyásolta a búza termésszintjét. Legkedvezőbb eredményeket az intenzív növényvédelmi technológia alkalmazása esetén kaptuk. Szoros interaktív hatást lehetett kimutatni a vetésváltás \times trágyázás \times növényvédelem \times évjárat rendszerben. Mérsékelt műtrágya adagoknál főlegesen költségnövelő tényező az intenzív növényvédelem alkalmazása, ugyanakkor optimális műtrágya dózisok kijuttatása esetén szinte kötelező az intenzív növényvédelmi technológia végrehajtása.

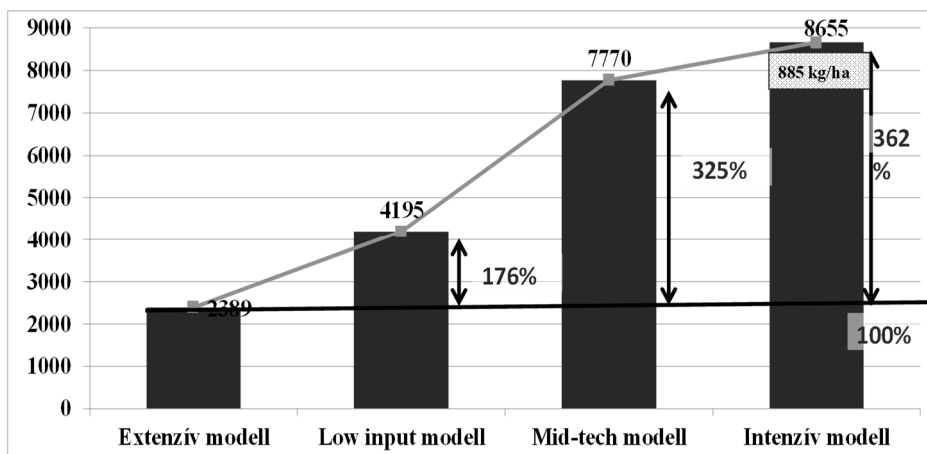
A variancia komponensek felosztásával a polifaktoriális tartamkísérlet hatalmas adatbázisát értékeltük őszi búza esetében. Kutatási eredményeink azt bizonyították, hogy az őszi búza termését a trágyázás 50%-ban, a vetésváltás 28%-ban, a növényvédelem 16%-ban, az öntözés 2%-ban, az évjárat pedig 4%-ban határozta meg (9. ábra).

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



A polifaktoriális tartamkísérelt tudományos eredményei lehetőséget nyújtottak olyan gyakorlati őszi búza termesztéstechnológiai modellek összeállítására, amelyeket hatékonyan lehet a gyakorlatban alkalmazni. Őszi búza esetében az átlagos input felhasználású növényi modellt (7770 kg/ha) alkalmazhatjuk a leghatékonyabban. Ennél a modellnél az extenzív modellhez (2389 kg/ha) és a low-input modellhez (4195 kg/ha) képest egyaránt jelentős a búza terméstöbblete, ugyanakkor a technológiai intenzitási szint további növelése csak mérsékelt terméstöbbletet (885 kg/ha) eredményezett (10. ábra).

10. ábra. Technológiai modellek hatása az őszi búza termésére (kg/ha)
(Debrecen, csernozjom talaj, 2004–2022)



Különösen jó ökológiai adottságú területeken, intenzív technológia alkalmazása mellett egyre sürgetőbb igényként vetődik fel az a kérdés, hogy hogyan lehet agronómiailag és ökonómiailag hatékonyan tovább növelni az adott növény termésmennyiségét, -minőségét és termésbiztonságát.

Tartamkíséreltben különböző intenzitású növényi modelleket (átlagos, intenzív, szuperintenzív) vizsgálunk, amelyekben eltérő típusú növekedésszabályozó, növényi kondicionáló anyagokat, levéltrágyákat, regulátorokat hasonlítunk össze a két legfontosabb szántóföldi növényfajunknál (őszi búza, kukorica). Őszi búzánál a legutóbbi évek (2020-2021-2022. évek) eredményei azt bizonyították, hogy átlagos technológiával bikultúrában 6,7-9,2 t/ha, intenzív modellel 6,8-

9,6 t/ha, szuperintenzív technológiával pedig 7,1–9,9 t/ha termés érhető el (búza-kukorica vetésváltás). Kedvezőbb vetésváltásban, trikultúrában (szója-búza-kukorica) ennél is kedvezőbb termésszinteket tudunk realizálni (átlagos 6,9–9,6 t/ha, intenzív 7,2–9,9 t/ha, szuperintenzív 7,8–11,2 t/ha). Hiányos tápanyagellátás (kontroll) mellett a növekedésszabályozók + levéltrágyák alkalmazása minimális terméstöbbletet eredményezett. Optimális trágyázás esetén a terméstöbblet mértékét az évjárat vízellátása befolyásolta. Átlagos csapadékú évjáratokban (2020. és 2021. évek) a növekedésszabályozók + levéltrágyák terméstöbblete bikultúrában 650–1250 kg/ha, trikultúrában pedig 1000–1600 kg/ha volt. Az extrém száraz 2022. évben mérsékeltőbb terméstöbbleteket kaptunk (400 kg/ha, illetve 900 kg/ha), azaz ilyen mértékű időjárási anomáliákat ezekkel az addicionális anyagokkal sem lehetett kivédeni (6. táblázat).

6. táblázat. *Technológiai intenzitás hatása a búza termésére (Debrecen, csernozjom talaj, 2020–2022)*

Vetésváltás	Technológiai szint	2020		2021		2022	
		Kontroll kg/ha	Max. termés (N _{opt}) kg/ha	Kontroll kg/ha	Max. termés (N _{opt}) kg/ha	Kontroll kg/ha	Max. termés (N _{opt}) kg/ha
Bikultúra	átlagos	2588	9214	2204	8204	1969	6740
	intenzív	-213	+398	-781	-78	+228	+92
	szuperintenzív	2375	9612	2126	9015	2197	6832
		+64	+654	+135	+1266	+306	+405
		2652	9868	2339	9470	2275	7145
Trikultúra	átlagos	4515	8887	5289	9584	4251	6860
	intenzív	+284	+682	+463	+334	+211	+357
	szuperintenzív	4799	9569	5752	9918	4462	7217
		+426	+1009	+740	+1592	+378	+894
		4941	9896	6029	11176	4629	7754

Fontosabb szántóföldi növényfajok genotípusai tápanyagreakciójának tesztelése tartamkísérletben

A tesztelési tartamkísérlet beállítása, kezelései

A fontosabb növényfajok (őszi búza, kukorica, napraforgó) tápanyagigényes kultúrák, ugyanakkor a kijuttatott tápanyagokra rendkívül jól reagáló (indikátor) szántóföldi növényfajok. A kijuttatott tápanyagok hasznosulását számos agroökológiai (évjárat, talaj), agrotechnikai (vetésváltás, növényvédelem stb.) tényezők mellett a természetett genotípus, a fajta/hibrid tápanyagreakciója is jelentősen befolyásolja. Az elmúlt évtizedekben igen jelentős mértékben megnőtt az államilag minősített fajták/hibridek száma. Az eltérő genotípusú fajták/hibridek jelentős mértékű különbségeket mutatnak a különböző agrotechnikai tényezőkre adott reakciójukban. E fajtaspecifikus technológiai elemek közül az egyik legfontosabb a növényfajok genotípusainak tápanyag-reakciójának egzakt meghatározása. Ilyen tartamkísérletet folytatunk 1983. év óta mészlepedékes csernozjom talajon különböző növényfajok (őszi búza, kukorica, napraforgó) fajtáival, hibridjeivel. A kísérlet split-split-plot elrendezésű, az ismétlések száma négy (11. ábra). A kísérleti parcellák 10 m² nagyságúak, a kísérlet teljes területe 37 500 m² (3,75 ha). A tartamkísérletben alkalmazott kezelések:

- Trágyázás

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
	(kg/ha)		
1	0	0	0
2	30	22,5	26,5
3	60	45	53
4	90	67,5	79,5
5	120	90	106
6	150	120	132,5

A foszfor és kálium műtrágyák 100%-át, a nitrogén műtrágya 50%-át összel, a nitrogén további 50%-át tavasszal juttatjuk ki.

- Növényfaj
 - őszi búza, kukorica, napraforgó.

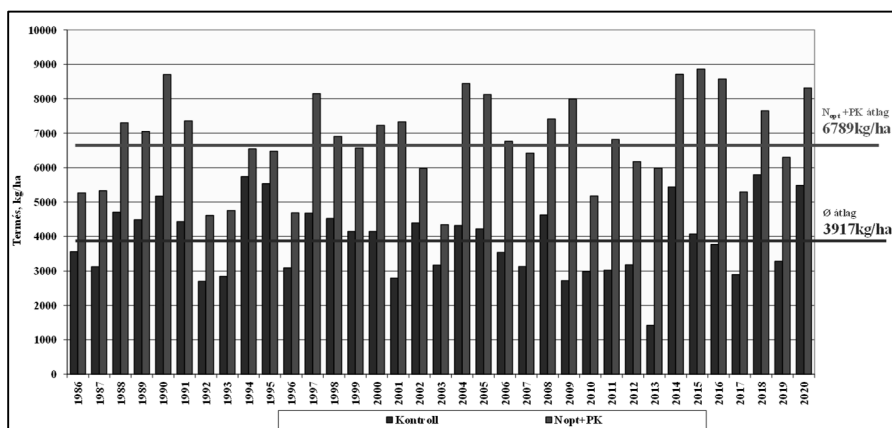
közvetlenül (vetésváltás, öntözés, növényvédelem), illetve közvetett módon (talajművelés, vetéstechnológia, betakarítás) befolyásolja a búza termesztéstechnológiájának minden elemét. A trágyázási tartamkísérlet eddigi négy évtizede lehetőséget biztosított arra is, hogy a növénytermesztés víz- és tápanyagforgalmának folyamatait is tanulmányozhassuk.

A trágyázási fajtatesztelési tartamkísérletben részletes vizsgálatokat folytattunk:

- az évjárat búza termésmennyiségére gyakorolt hatásának,
- a fajtaspecifikus tápanyagreakciónak,
- a búzafajták agronómiai és növénykórtani tulajdonságainak,
- a búzafajták asszimilációs kapacitásának,
- a növénytermesztési tér vízgazdálkodásának,
- a növénytermesztési tér tápanyagforgalmának,
- a búzafajták sütőipari minőségének a meghatározására.

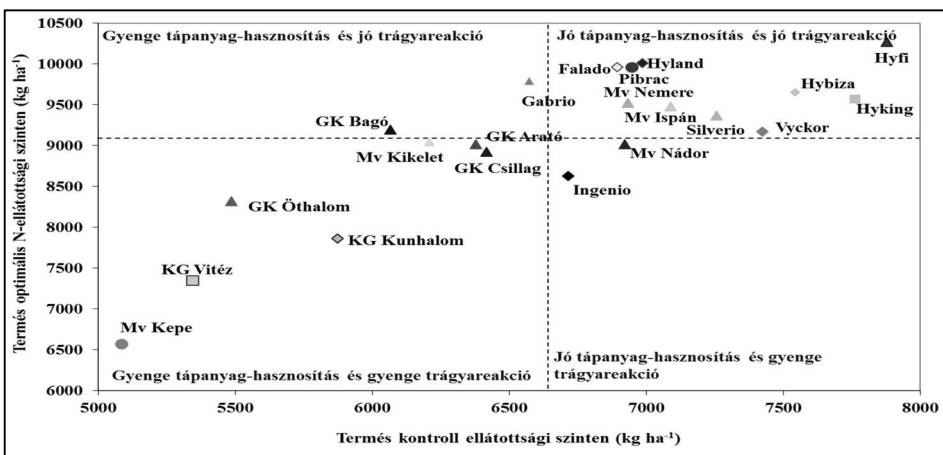
Az őszi búza kedvezőbb ökológiai adaptációval rendelkezik, mint a másik fontos gabonanövényünk, a kukorica. Ennek ellenére a kedvező víz- és tápanyaggazdálkodási tulajdonságokkal rendelkező csernozjom talajon is az évjárat jelentősen módosította a búza termésszintjét. A standardként használt GK Öthalom fajta kontroll (műtrágya nélküli) termése 1,4–5,8 t/ha között változott, elsősorban az adott évjárat vízellátottságától függően (12. ábra).

12. ábra. Az évjárat hatása a GK Öthalom őszi búza fajta termésére
(Debrecen, csernozjom talaj, 1986–2020)



Ugyanakkor jelentős eltérések voltak a különböző, eltérő genotípusú búzafajták realizált terméseredményében is, amely egyrészt a fajták eltérő potenciális termőképességét, másrészt a fajták eltérő adaptációs képességét bizonyították (13. ábra).

13. ábra. Őszi búza fajták tápanyagreakciójának tesztelése
(Debrecen, csernozjom talaj, 2020)



Azonos ökológiai és agrotechnikai feltételek mellett a búzafajták termés-maximuma között közel 3 t/ha különbséget is meg lehetett állapítani. Ezek a kutatási eredmények a búzanemesítésben a genetikai előrehaladást is bizonyították (a régi GK Öthalom termésszintjét az újabb genotípusok termése 2-3 t/ha-ral haladta meg). A tartamkísérletek eredményei azt bizonyították, hogy a búzafajták optimális N+PK adagját az évjárat vízellátottsága jelentősen módosította a fajtahasználat mellett. Csapadékos évjáratban a búza fajták a maximális termést az N₃₀₋₆₀+PK, átlagos évjáratban az N₆₀₋₁₂₀+PK, száraz évjáratban az N₉₀₋₁₅₀+PK kezelésekben adták.

Az őszi búzafajták fajtaspecifikus tápanyagreakcióval jellemezhetők. A fajtaspecifikus tápanyagreakció egzakt megítéléséhez az alábbi paramétereket használhatjuk:

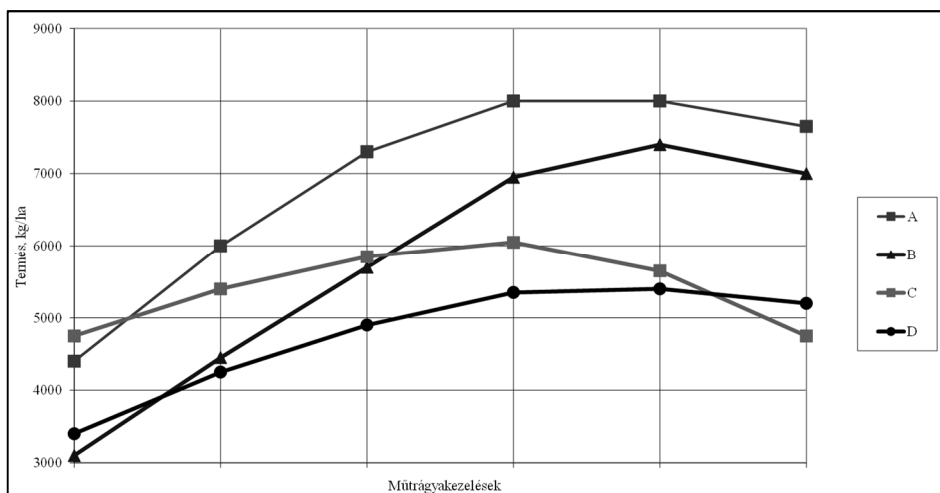
- a búzafajták természetes tápanyaghasznosító képessége (a kontroll kezelésben kapott terméseredmény),
- a búzafajták trágyareakciója (a trágyázás hatására kapott terméstöbblet),

- az adott búzafajta optimális N+PK adagja,
- a búzafajták parabolikus regresszióval meghatározott trágyareakció görbéi.

A tartamkísérletünk eredményei alapján a búzafajták négy jellegzetes tápanyagreakció-típusba sorolhatók (14. ábra):

- kedvező természetes tápanyaghasznosító képességű és kiváló trágyareakciót mutató fajták (modern fajtatípus = A),
- kedvező természetes tápanyaghasznosító képességű, gyenge trágyareakciót mutató fajták (hagyományos extenzív fajtatípus = B),
- gyenge természetes tápanyaghasznosító képességű, kiváló trágyareakciót mutató fajták (hagyományos intenzív fajtatípus = C),
- gyenge természetes tápanyaghasznosító képességű, gyenge trágyareakciót mutató fajták (korszerűtlen fajtatípus = D).

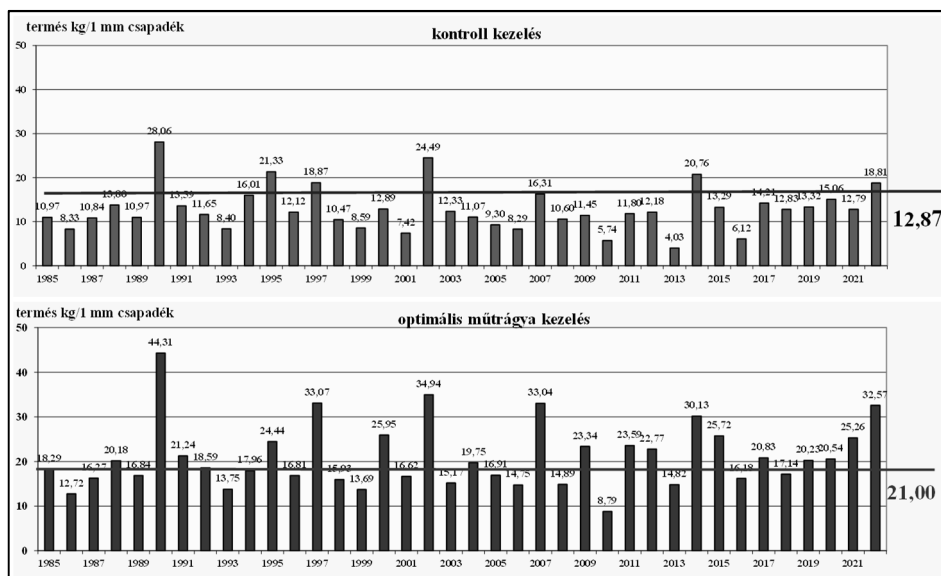
14. ábra. Őszi búzafajták típusai trágyareakciójuk alapján (Debrecen)



A tartamkísérlet eredményei azt bizonyították, hogy a fajtaspecifikus trágyázással nem csak a fajták potenciális termőképességét tudjuk jelentős mértékben kihasználni, hanem javul a búzafajták vízhasznosítása is. Az 1 mm vegetációs periódusban lehullott csapadékra jutó szemtermés a kontroll kezelésben 4,03–28,06 kg között változott (átlag 12,87 kg), az optimális NPK

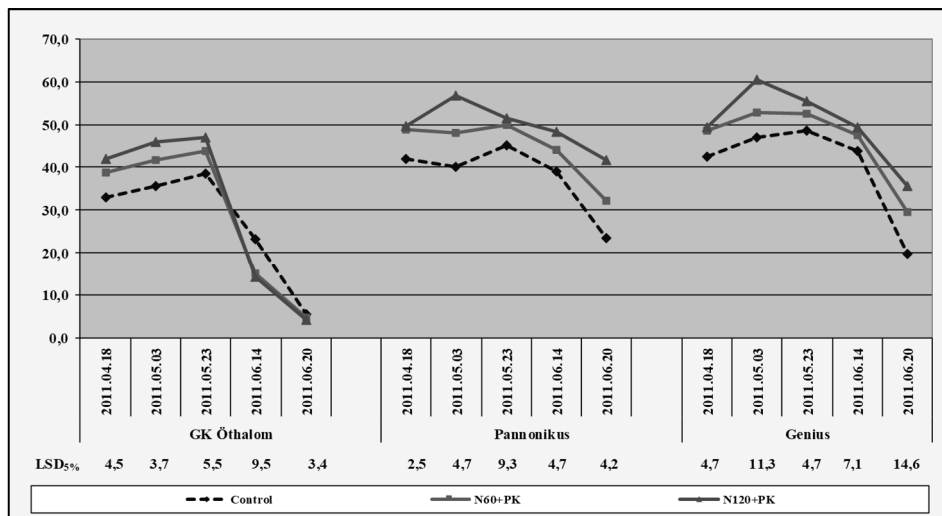
műtrágya adagnál ez lényegesen kedvezőbb értékeket mutatott, az évjáratától függően 8,29–44,31 kg közötti intervallumban (átlag 21,00 kg) változott (15. ábra).

15. ábra. Őszi búza vízhasznosítása különböző évjáratokban
(Debrecen, csernozjom talaj, fajták átlaga, 1985–2022)

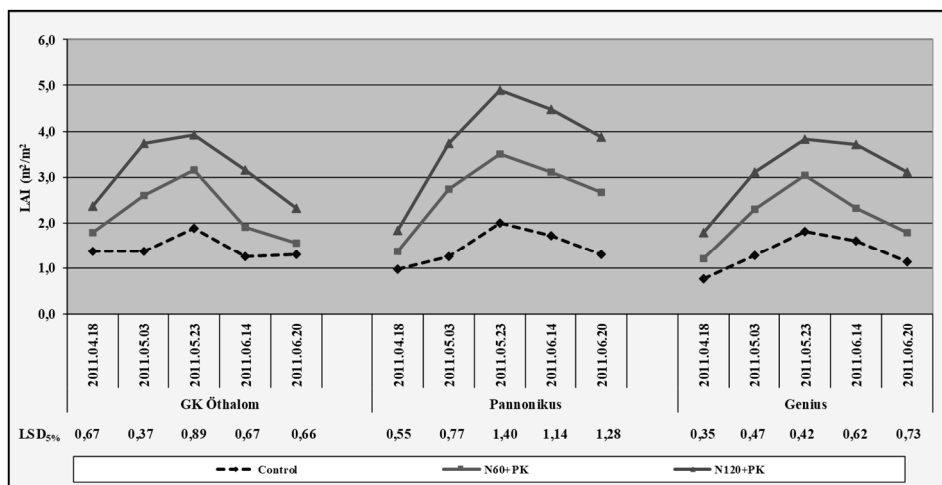


Az őszi búza vegetációs periódusa során, eltérő típusú évjáratokban meghatároztuk az őszi búzafajták asszimilációs kapacitását. Vizsgálati eredményeink azt bizonyították, hogy elsősorban a trágyázás határozta meg mind a LAI értékek dinamikáját, mind a maximális levélfelület értéket (LAI_{max}), mind a relatív klorofiltartalmat (SPAD értékek). E növényfiziológiai paramétereket jelentős mértékben az évjárat, kisebb mértékben pedig a genotípus módosította (16–17. ábra).

16. ábra. Őszi búza genotípusok relatív klorofilltartalma (SPAD) (Debrecen, 2011)



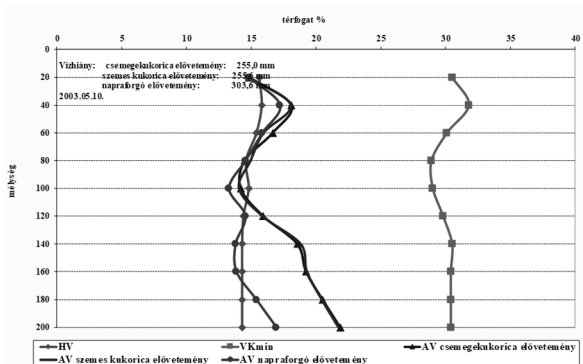
17. ábra. Őszi búza genotípusok levélfelületének (LAI) dinamikai változása (Debrecen, 2011)



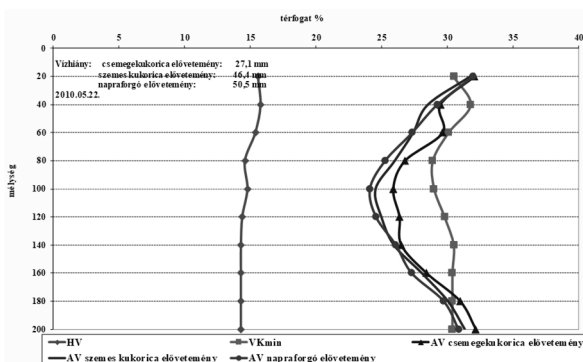
A búza termésmennyiségét jelentős mértékben befolyásolják a növénytermesztési tér vízháztartási folyamatai. A búza őszi-tavaszi-nyári időszakában folyamatosan vett talajmintákkal nyomon követjük a csernozjom talaj aktuális vízkészletének a változását. Rendkívül fontos, hogy a talaj vízkészlete hogyan alakul, különösen a búza kritikus fenofázisaiban (intenzív növekedés, virágzás-termékenyülés). Vizsgálati eredményeink azt bizonyították, hogy mind az aszályos, mind a túlzottan nedves évjáratokban a realizált termésmaximum és a trágyázás hatására kapott terméstöbblet kisebb volt, mint az átlagos évjáratban kapott értékek (18. ábra). Száraz évjáratban a fajták termésmaximumának átlaga 4,2 t/ha, a trágyázás terméstöbblete 0,8 t/ha volt, míg csapadékos évjáratban 5,5 t/ha, illetve 1,9 t/ha értékeket kaptunk. Átlagos vízellátottságú évjáratban sokkal kedvezőbb terméseredményt (8,0 t/ha), illetve terméstöbbletet (4,0 t/ha) értünk el a fajták átlagában. A csernozjom talaj 0–200 cm talajszelvényének vízkészlete szoros összefüggést mutatott a termésmaximummal és a trágyázás terméstöbbletével.

A trágyázási tartamkísérlet növekvő műtrágya adagjai jelentősen befolyásolták a csernozjom talaj tápanyagkészletét. A növénytermesztési tér tápanyagforgalmi vizsgálati eredményei azt bizonyították, hogy az optimálisnál nagyobb nitrogén adagok hatására nőtt a csernozjom talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma. A N-akkumuláció folyamatosan növekedett a tartamkísérlet beállításától kezdődően. A szárazabb, kontinentális klímahatás ellenére a N-akkumulációs zóna a 60–140 cm talajrétegből fokozatosan lefelé mozgott és öt év elteltével már a 120–240 cm talajrétegben helyezkedett el. Eközben a talaj $\text{NO}_3\text{-N}$ tartalma 100 mg/kg értékről 250 mg/kg értékre nőtt a búza optimális N-adagját meghaladó műtrágyakezelésben (19. ábra). A tartamkísérlet eredményei azt bizonyították, hogy a foszfor és kálium műtrágyák növekvő adagjai a talajszelvény felső 0–40 cm rétegének AL-oldható P_2O_5 (20. ábra) és AL-oldható K_2O (21. ábra) tartalmát növelték meg.

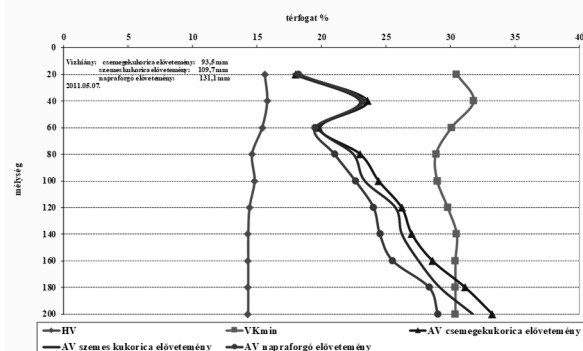
18. ábra. A vízhiány változása az őszi búza tenyészidőszakában
(Debrecen, csernozjom talaj, 2003–2011)



Termés (kg/ha)			Műtrágyázás	
Ø	N	PK	terméshozott (kg/ha)	
3447	4242		795	



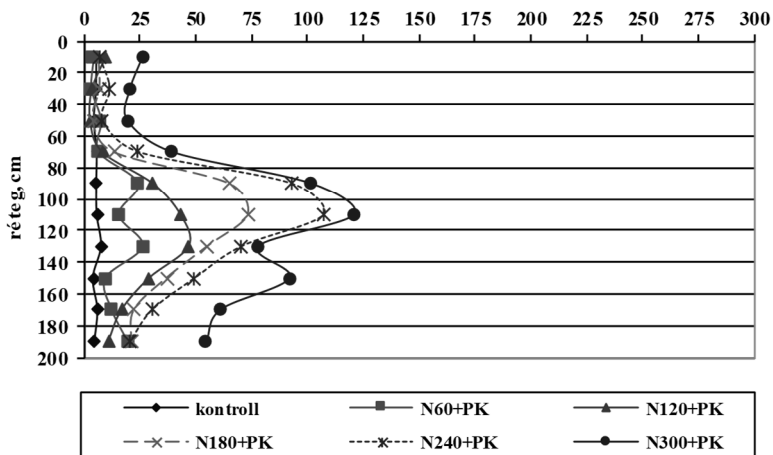
Termés (kg/ha)			Műtrágyázás	
Ø	N	PK	terméshozott (kg/ha)	
3618	5539		1921	



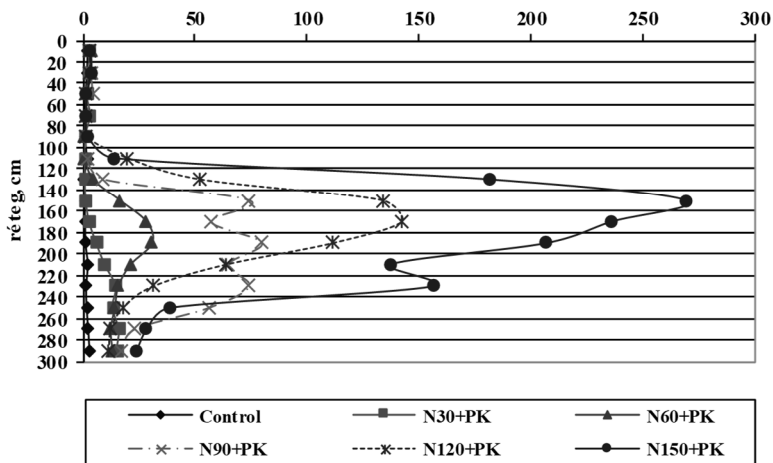
Termés (kg/ha)			Műtrágyázás	
Ø	N	PK	terméshozott (kg/ha)	
4023	4843		4020	

19. ábra. A talaj NO₃-N tartalma tartamkísérletben
(Debrecen, csernozjom talaj)

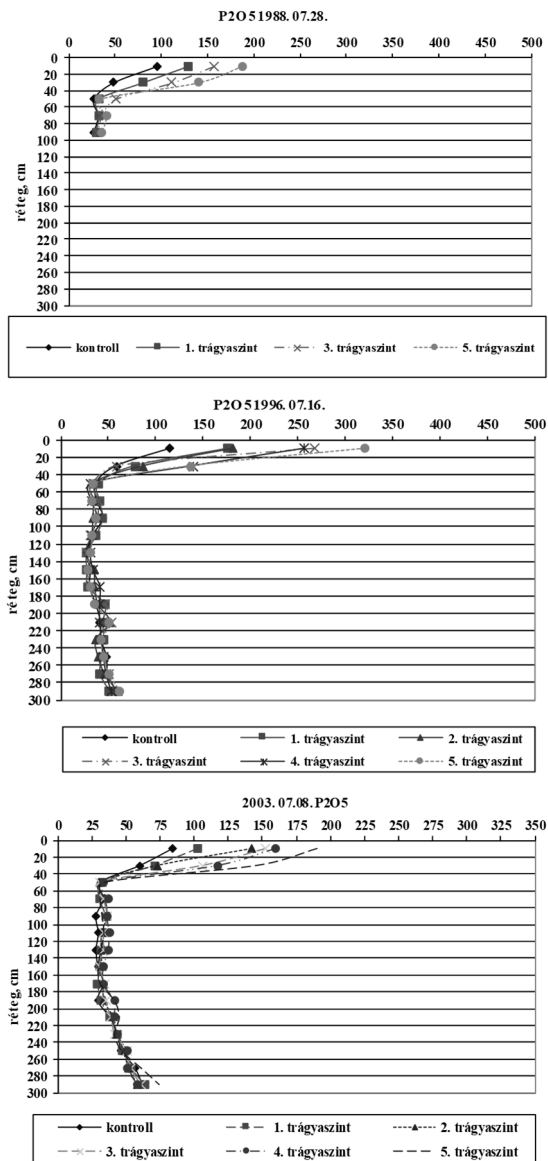
NO₃-N 1995.07.20.



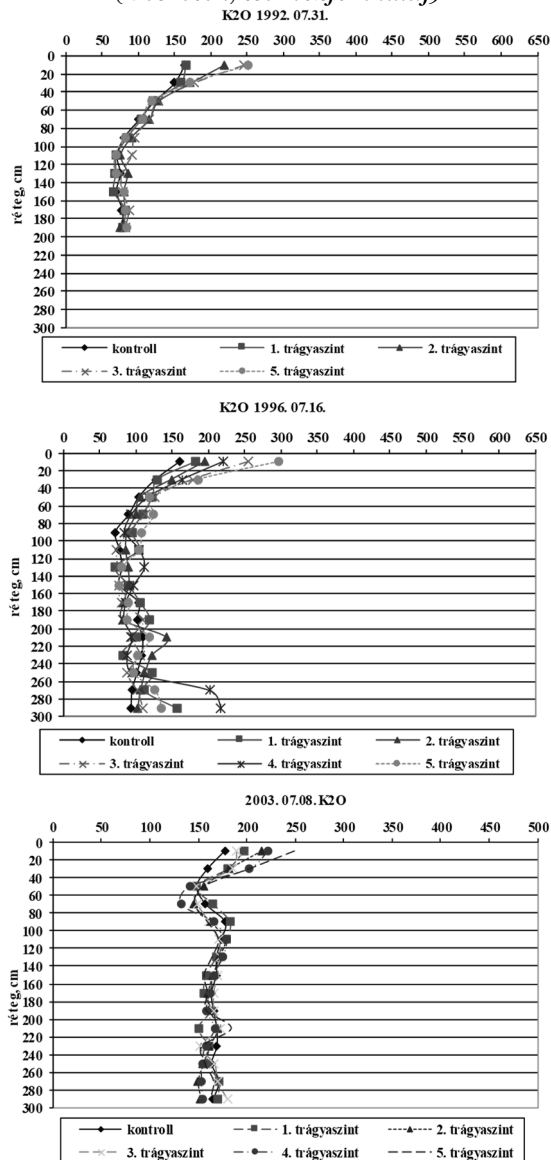
NO₃-N 2001.07.27.



20. ábra. A talaj AL-oldható P_2O_5 tartalmának változása tartamkísérletben
(Debrecen, csernozjom talaj)

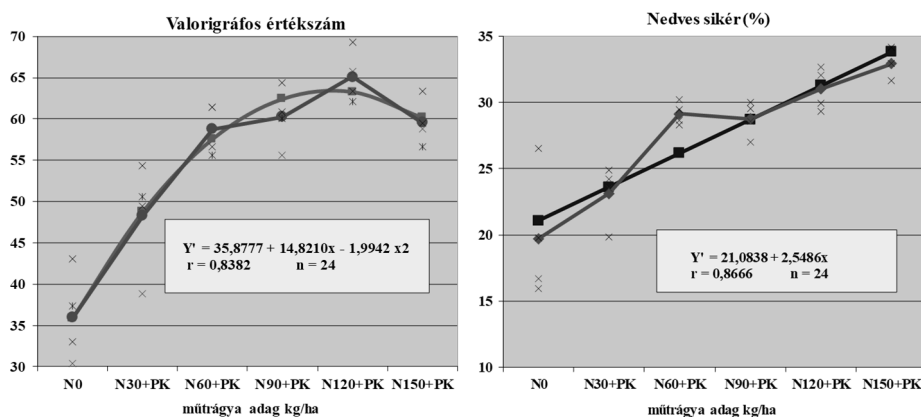


21. ábra. A talaj AL-oldható K_2O tartalmának változása tartamkísérletben
(Debrecen, csernozjom talaj)



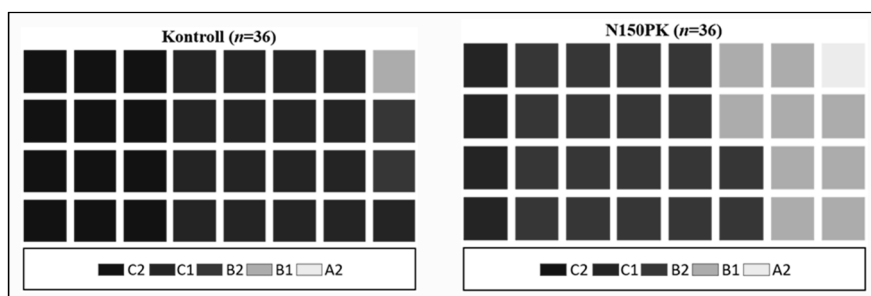
A trágyázás jelentősen befolyásolta a tartamkísérletben vizsgált búzafajták sütőipari minőségét is. A hatás függött a genotípustól (fajtaspecifikus), valamint a vizsgált sütőipari tulajdonságtól. Vizsgálataink azt bizonyították, hogy a trágyázás hatására a nedves sikértartalom változását lineáris, a valorigráfós értékszám változását parabolikus függvényekkel írhatjuk le erős korrelációs koefficiensek mellett ($r=0,83-0,86$). Az optimális NPK trágyázás hatására nem csak a búzafajták sütőipari minőségi paraméterei javultak, hanem az adott tulajdonság stabilitása is kedvezőbbé vált (22. ábra).

22. ábra. A műtrágyázás hatása a búza sütőipari minőségére
(Debrecen, GK Öthalom fajta, 2001)



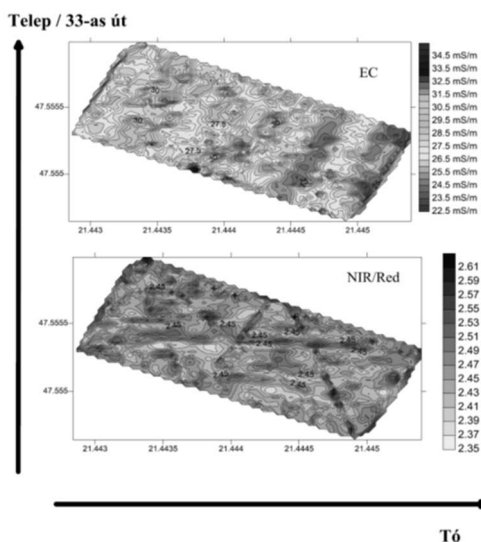
A hazai búzatermesztés folyamatosan visszatérő, neuralgikus része a minőség, illetve annak piaci megítélése. A jó sütőipari minőségű búzához a megfelelő fajta mellett alapvető fontosságú az optimális tápanyagellátás. A tartamkísérleti eredményeink azt bizonyították, hogy a hiányos tápanyagellátás (kontroll) mellett a sok-sok vizsgált fajta döntően takarmányminőséget adott (23. ábra). Kedvező trágyaadag alkalmazása esetén (N₁₅₀+PK) a fajták sütőipari minősége döntően malmi (B₂-B₁, 56%, illetve 28%), míg a takarmányminőség limitált mértékben (13%) fordult elő, de megjelent a javító minőség is (A₂ minőség 3%).

23. ábra. A műtrágyakezelés hatásának összehasonlítása a valorigráfus értékcsoportha ostya diagram segítségével
(Debrecen, csernozjom talaj, fajták átlaga, 2018–2019, Magyar és Pepó)



A 40 éves tartamkísérleteink lehetőséget nyújtanak a precíziós technológiák alapjainak egzakt vizsgálatához. Ennek érdekében részletes talajtani felvételezéseket végeztünk (EC, NIR/Red) a tartamkísérletünk több mint 400 parcelláján (24. ábra).

24. ábra. Részletes talajtani felvételezések a tartamkísérletek parcelláin



– *Kukorica*

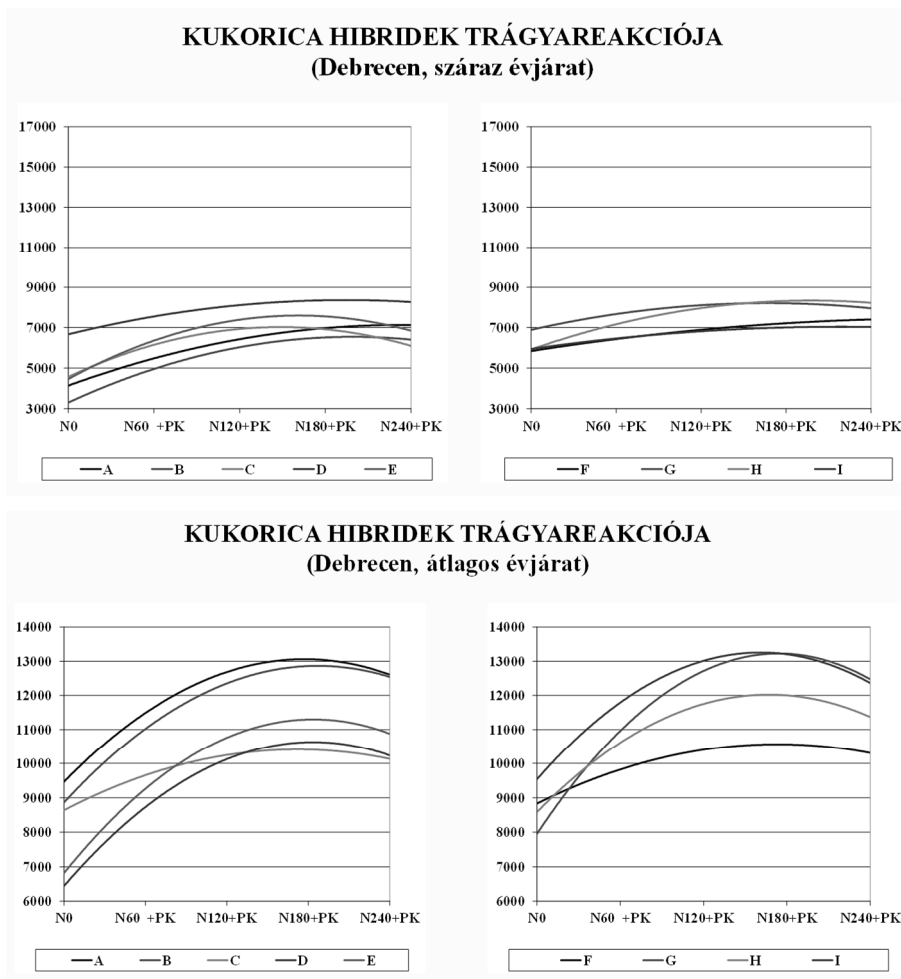
A kukorica hatalmas biomasszájának jelentős tápanyagigényét részben a talaj, részben a műtrágyákkal kijuttatott tápanyagokból elégíti ki. A hazánkban államilag minősített több száz kukorica hibrid igen eltérő természetes tápanyaghasznosító képességgel és eltérő trágyareakcióval jellemezhető. A tartamkísérleteink eredményei szerint a nemesítés eredményeként az újabb hibridek kedvezőbb természetes tápanyaghasznosítással jellemezhetőek (7. táblázat). Az újabb hibridek termésmaximuma 1,5 t/ha-ral meghaladta a régebbi hibridekét, miközben a nagyobb terméshez kevesebb műtrágyát használtak fel (N₁₂₀+PK helyett N₁₀₀+PK).

7. táblázat. *Kukorica genotípusok tápanyagreakciója*
(Debrecen, csernozjom talaj, 2012–2014)

Év / Mtr. kezelés	Régebbi genotípus (kg/ha)	Újabb genotípus (kg/ha)
2012. év		
Ø	10 012	10 768
N _{opt} +PK	13 402 (N=90) +3390	14 972 (N=90) +4204
2013. év		
Ø	10 630	14 550
N _{opt} +PK	16 754 (N=150) +6124	18 619 (N=120) +4069
2014. év		
Ø	10 434	11 355
N _{opt} +PK	13 247 (N=120) +2813	14 571 (N=90) +316
2012-2014. évek átlaga		
Ø	10 359	12 208
N _{opt} +PK	14 468 (N=120) +4109	16 054 (N=100) +3846
Az új genotípus terméstöbblete:		
Ø	+1849 kg/ha	N _{opt} +PK +1586 kg/ha

A kukorica hibridek trágyareakcióját az évjárat vízellátottsága jelentősen befolyásolta. Száraz évjáratban a hibridek trágyareakció görbéi alig különböztek egymástól, míg átlagos-kedvező vízellátottság esetén a hibridek jelentősen eltérő, hibridspecifikus trágyareakciót mutattak (25. ábra).

25. ábra. Kukorica hibridek trágyareakciója száraz és átlagos évjáratban



A 40 éve folyó tartamkísérletekben vizsgáltuk a kukorica genotípusok makroelemekre vonatkozó tápanyaghasznosító képességét. A kukorica műtrágya hasznosítását részben a hibrid, részben az évjárat, részben pedig a kijuttatott trágyaadag nagysága befolyásolta. Tartamkísérleteink eredményei szerint a kukorica N-műtrágya hasznosítása 73–85%, a P-műtrágya hasznosítása

13–34%, a K-műtrágya hasznosítása pedig 21–49% között változott az ökológiai, genetikai és agrotechnikai feltételektől függően (8. táblázat).

8. táblázat. A kukorica hibridek tápanyagfelvétele
(Debrecen, csernozjom talaj, 2013–2014, Karancsi és Pepó)

Év	Hibrid	Tápanyagszint	Kivont tápelem (kg ha ⁻¹)			Hatékonyság %		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
2013	P9494	Kontroll	122,7	32,9	77,2	—	—	—
		N ₉₀ +PK	188,5	56,4	120,9	73,1	26,2	48,5
		N ₁₅₀ +PK	195,0	51,3	115,1	48,1	12,3	25,3
		Átlag	168,7	46,9	104,4	—	—	—
	SY Afinity	Kontroll	155,7	43,9	97,8	—	—	—
		N ₉₀ +PK	231,8	74,8	140,5	84,6	34,3	47,4
		N ₁₅₀ +PK	219,9	68,0	135,9	71,4	26,7	42,3
		Átlag	202,5	62,2	124,7	—	—	—
2014	P9494	Kontroll	107,4	28,2	40,7	—	—	—
		N ₉₀ +PK	179,5	40,9	70,4	80,1	14,1	33,0
		N ₁₅₀ +PK	200,7	47,6	76,9	62,2	12,9	24,1
		Átlag	162,5	38,9	62,7	—	—	—
	SY Afinity	Kontroll	135,8	36,6	51,8	—	—	—
		N ₉₀ +PK	203,6	48,0	71,1	75,2	12,6	21,4
		N ₁₅₀ +PK	214,1	47,6	79,9	52,1	7,4	18,7
		Átlag	184,5	44,1	67,6	—	—	—

Tartamkísérletben a kukorica hibridek öntözési reakcióját is vizsgáltuk eltérő vízellátottságú évjáratokban (9. táblázat). Átlagos vízellátottságú évben a kukorica hibridek abszolút (1706–2395 kg/ha) és relatív terméstöbblete (15,1–20,6%) mérsékelt volt. Extrém száraz évjáratban (2022. év) a hibridek igen jelentős terméstöbblettel hálálták meg az öntözést (3570–5405 kg/ha, illetve 107–167%).

9. táblázat. *A kukorica genotípusok hibridspecifikus öntözési reakciója (Debrecen, csernozjom talaj, 2021–2022)*

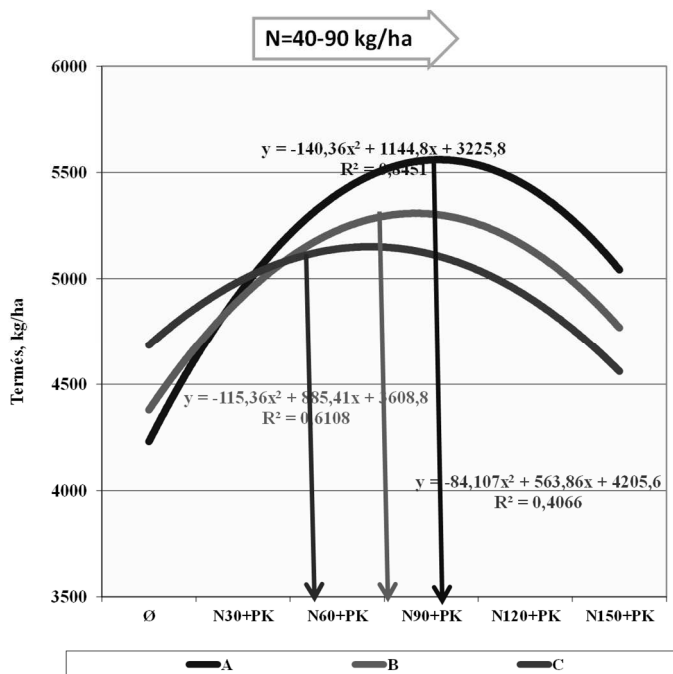
Hibrid	Termés (kg/ha)		Öntözési terméstöbbitet	
	Száraz	Öntözött*	Abszolút (kg/ha)	Relatív (%)
2021				
A	11 331	13 037	1706	+15,1
B	11 781	14 012	2231	+18,4
C	11 626	14 021	2395	+20,6
D	11 881	13 921	2040	+17,2
Hibrid	Száraz	Öntözött**	Abszolút (kg/ha)	Relatív (%)
2022				
A	2143	5713	3570	+166,6
B	3707	7983	4276	+107,3
C	3283	8212	4929	+150,1
D	3494	8889	5405	+154,4

Megjegyzés: *öntözés 90 mm öntöző vízzel, **öntözés 150 mm öntöző vízzel.

– Napraforgó

A napraforgó ugyan jelentős tápanyagigénnyel jellemezhető, azonban ennek a felvett tápanyagnak a túlnyomó részét a talaj tápanyagkészletéből veszi fel, amely így mérsékli a növény műtrágya igényét. Tartamkísérletben a napraforgó műtrágya reakcióját, tápanyaghasznosítását folyamatosan teszteljük. Vizsgálati eredményeink szerint a hibridek természetes tápanyaghasznosító és trágyareakció képessége jelentősen eltért egymástól, amelyet a hibridspecifikus trágyázásnál figyelembe szükséges venni (26. ábra).

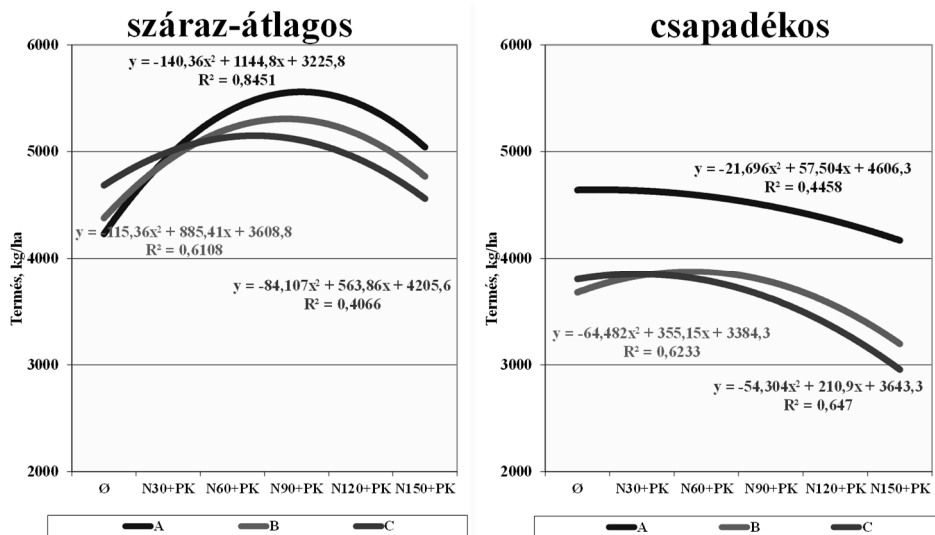
26. ábra. *Eltérő genotípusú napraforgó hibridek műtrágyareakciója (Debrecen, csernozjom talaj, átlagos évjárat)*



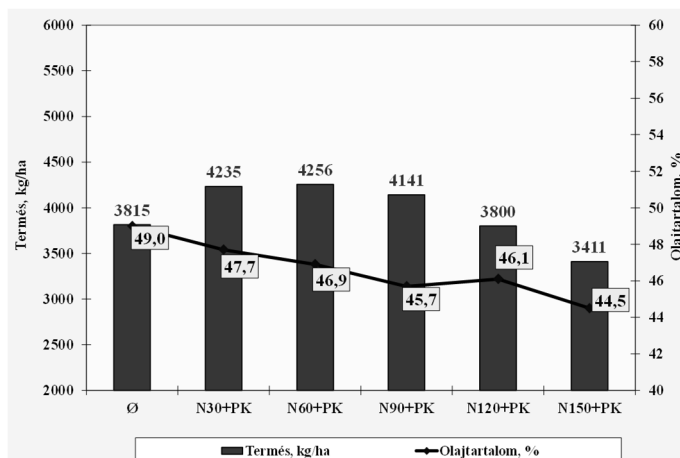
A nagy területen termesztett szántóföldi növényeink közül a napraforgó termésmennyiségét, minőségét és trágyareakcióját az évjárat, annak elsősorban a vízellátottsága befolyásolja a legnagyobb mértékben a növény igen erőteljes kórtani szenzibilitása miatt. Tartamkísérletünkben a száraz-átlagos vízellátottságú évjáratokban kedvező trágyareakciót és trágyahasznosítást mutattak a napraforgó hibridek, míg csapadékos évjáratban a trágyázás termésdepressziót okozott (27. ábra).

A napraforgó esetében a termés mennyiség mellett annak minősége (olajtartalma) is determinatív tényező a területegységenkénti olajtermés szempontjából. Tartamkísérleteinkben a növekvő műtrágya adagok csökkentették a hibridek olajtartalmát, különösen a nagyadagú ($N_{150}+PK$) kezelésben -4,5 abszolút %-kal (28. ábra).

27. ábra. *Eltérő genotípusú napraforgó hibridek műtrágyareakciója (Debrecen, csernozjom talaj, száraz-átlagos és csapadékos évjárat)*



28. ábra. *A trágyázás hatása a napraforgó termésére és olajtartalmára (Debrecen, csernozjom talaj, hibridek átlaga)*



A szerző levelezési címe - Address of the author:

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

A növénytermesztési tartamkísérletek agronómiai jelentősége

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

Összefoglalás

A növénytermesztési tartamkísérletek célja immár évszázadok óta a növény és a talaj kölcsönhatásainak tanulmányozása, törvényszerűségeinek megismerése. A tartamkísérletek lényegében élő eszközrendszerek, amelyek '*ceteris paribus*' feltételeket biztosítanak időbeli egymásutániségben.

Jelen áttekintés a világ és Magyarország nagy növénytermesztési tartamkísérleteinek rövid bemutatására vállalkozik. A teljesség igénye nélkül összefoglalja a növényi táplálkozással kapcsolatos kutatások gyökereit, Homérosz első megfogalmazásától, van Helmont legendás fűzfa kísérletén át, a von Liebig, Lawes és Boussingault táplálkozás-élettani tételeiig. Az összeállítás áttekintést ad a legrégebbi tartamkísérletekről, mint a padovai Orto Botanico-ról, az uppsalai Linné Garden-ről és a rothamstedi Broadbalk-ról is.

A nagy hazai tartamkísérletek agronómiai, oktatási és tudományos előnyeit az 1929-ben alapított Westsik, Martonvásár, majd az 1963-ban alapított Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) példáján mutatja be a dolgozat. A tartamkísérletek jegyzéke tájékoztatást nyújt a legutolsó 2017-es felmérés szerinti legfontosabb kísérleti helyszínekről és kutatási tevékenységekről.

Kulcsszavak: tartamkísérletek, táplálkozás-élettan, termesztéstechnológia

Agronomic benefits of long-term crop production experiments

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

Summary

For many centuries, long-term experiments have been established in favour of exploring and observing plant and soil interrelations on site. Long-term experiments can be considered as live instruments providing '*ceteris paribus*' conditions in temporal sequences.

This review is dealing with the introduction to major long term experiments in the World, and especially in Hungary. Giving a brief summary on plant nutritional research roots beginning with some data from Homer, and the fabulous initial willow tree experiment of van Helmont, as well as the basic inventions of physiological processes by von Liebig, Lawes and Boussingault. The most profound long term experiments like Padova's Orto Botanico, the Linné Garden of Uppsala and the Broadbalk of Rothamsted are presented in the paper.

Long-term experiments in Hungary have yielded agronomic, educational and scientific benefits. Information is given on the major long term-trials like Westsik 1929, Martonvásár and the National Plant Nutrition experiments (OMTK) founded in 1963. There is a list of experimental sites providing information on the most important recent long term trial locations and activities.

Keywords: long-term trials, plant nutrition physiology, crop production

A kezdetek

A kutatók a szabadföldi növénytermesztési kísérleteket, különösen a tartamkísérleteket azzal a céllal állítják be, hogy a növények és a talaj kölcsönhatásait, azok összefüggéseit tanulmányozzák, és törvényszerűségeit meghatározzák. A tartamkísérleteket lényegében élő laboratóriumként, eszközzrendszerként határozhatjuk meg, amelyek folyamatosan '*ceteris*

paribus' feltételeket biztosítanak időbeli egymásutániségben (Kellogg 1957). Az ilyen kísérletek haszna és eredményessége a pontos elrendezésükben és a működtetésük időtartamában rejlik. Egyszerűen fogalmazva, minél idősebb, annál jobb a tartamkísérlet, hiszen adatbázisa biztosítja a matematikai értékelés alapjait (Jolánkai 2017).

A trágyázásra vonatkozó első írásos információ majdnem három évezredre nyúlik vissza. Homérosz (Kr.e. XI. század) leír egy történetet az Odüsszeiában Odüsszeusz Ithakába való hazatéréséről, amikor a trágyadomb mellett heverő öreg kutyája felismeri ... *"...öszvérnek, ökörnek bő trágyájában, mit mind odahordtak Odüsszeusz szolgálógevényei, hogy téres mezejét trágyázzák."* Homérosz leírása megfelelő agronómiai ismeretekről tanúskodik, amely bizonyítja, hogy korának emberei ismerték az állati ürülék értékét a növénytaplálásban, az anyag összegyűjtését és tárolását, valamint a szántóföldre juttatásának módját. Ez volt az első írott szöveg az emberiség történetében, amelyben megtalálható a trágya és a trágyázás kifejezés is.

Jan van Helmont flamand alkimista orvos legendás fűzfa kísérletére 1635-ben került sor. Ezt tekinthetjük az első tudományos igényű növénytaplálási megközelítésnek, amely a növények növekedését élettani szempontból vizsgálta. Egy meghatározott súlyú fiatal fűzfát helyeztek egy edénybe, amely ugyancsak előzetesen megmért mennyiségű talajt tartalmazott. Az edény felületét is lezárták, nehogy bármilyen idegen anyag hozzáférhessen a tápközeghez. Ezután két éven keresztül rendszeresen vizet juttattak a rendszerbe. A vizsgálat befejezése után mind a növény, mind a talaj súlyát ismét pontosan meghatározták, és egybevetették az indulási adatokkal. Van Helmont megállapította, hogy a fűzfa növekedése és fejlődése jelentős volt, és mivel nem volt lényeges különbség a talajadatok között - feltételezte, hogy a néhány uncia veszteség mérési hibának tudható be - és az eredmények alapján arra a következtetésre jutott, hogy az élet egyetlen anyagi forrása a víz. Ma már nyilvánvaló, hogy tévedett, hiszen nem vette figyelembe a légkör CO₂ tartalmát, valamint nem feltételezte, hogy a mérési hibaként értelmezett csekély talajvesztés is tápelemek felvételét jelentette. Bár a kísérletnek nem volt érdemi eredménye, azonban ettől számíthatjuk a tudományos alapú táplálkozásélettani kísérletek kezdetét.

A kémia fejlődésére és majdnem két évszázadra volt szükség von Liebig, Lawes és Boussingault táplálkozásélettani tételeinek megfogalmazásához.

Justus von Liebig roppant szemléletesen egy olyan hordó vízmegtartó képességével mutatta be a növekedést és fejlődést korlátozó szintet, ahol a különböző hosszúságú dongák képviselték egy-egy szükséges tápanyag mennyiségét, és amely szerint a legkisebb donga – így a legkisebb jelenlévő tápelem – határozza meg a szintet. Tézisei szellemesek, és széles körben elterjedtek voltak, azonban Sir John Bennet Lawes azonnal megcáfolta azokat. Lawes megismételte egy szabatos, pontos szabadföldi kísérletben a minimumtörvény tápelemkísérletét és megállapította, hogy az nem igaz. Kinek volt igaza és ki vallott kudarcot? Mindkettőjüknek igaza volt, azonban az eltéréseket a maga a módszer idézte elő. Liebig vegyszékként statikus modellt követett, Lawes pedig gyakorló gazdálkodóként dinamikus értékelést végzett – mondjuk, mint ahogy a puding próbája az, ha megeszik. Egy harmadik személyre és egy új felfedezésre volt szükség az élettani folyamat értelmezéséhez. Jean Baptiste Boussingault volt az a tudós, aki először írta le a nitrogénciklust, és így magyarázatot adott az eltérő tapasztalatokra. Nevezetesen arra, hogy vannak stabil és mobilis tápelemek. Ez volt az a kor, amely megteremtette pontos szabadföldi tartamkísérletek létrehozásának igényét, hogy *in vivo* feltételeket biztosítsanak a növényélettani kutatásokhoz.

Történelmi tartamkísérletek

Az első tartamkísérleteket nem mezőgazdászok, hanem botanikusok hozták létre. Ezeknek a kísérleteknek az alapvető feladata az volt, hogy '*ceteris paribus*' (azonos körülmények) feltételeket biztosítsanak a tudományos megfigyelésekhez. Régóta ismert, hogy bármely élőlény viselkedésének, növekedésének és fejlődésének tanulmányozásához azonos körülményekre és megismételhető módszerekre van szükség (*Cserhádi* 1901). Nehéz meghatározni, hogy a világon melyik tartamkísérlet lehet elsőnek nevezni, mert erre legalább egy tucat jelölt van. Még annak meghatározása is gondot jelenthet, hogy mit értünk kísérlet, és mit értünk tartamosság alatt. A növényi növekedés élettani kutatása szempontjából a legrégebbi tartamkísérlet a Padovai Egyetem Orto Botanico-ja, amelyet 1545-ben alapítottak. Azóta is különböző növényfajokat tesztelnek itt, öntözött és öntözetlen körülmények között, ellenőrzött rendszerben.

Egy másik legendás tartamkísérlet, amit ugyancsak botanikai céllal hoztak létre az 1728-ban alapított uppsalai Linné Garden. Carolus Linné botanikus volt. Nevéhez fűződik a növények első taxonómiai rendszerének felállítására.

Mivel a morfológiai jegyek meghatározása során törekedett az azokat esetlegesen megváltoztató környezeti hatások kiszűrésére, ezért párhuzamos megfigyeléseket végzett minden növény esetében. A Linné Garden ma már egy nem működő tartamkísérlet. Körül ölelte azóta a város, és egy belvárosi háztömb közepén található. Egyfajta élő tudományos múzeum, amelynek fenntartását a helyi közösség végzi.

A közel két évszázada létrehozott és ma is működő szabadföldi tartamkísérletet, amely a növény tápanyagellátásával és a monokultúrás termesztés élettani alapjainak vizsgálatával foglalkozik 1843-ban Sir John Bennet Lawes állította be Rothamsted-ben lévő birtokán egy Broadbalk elnevezésű táblán. A „Broadbalk” világhírré tett szert, hiszen nem csak a már említett Liebig törvény újra értelmezése, hanem a legerterjedtebb műtrágya, a szuperfoszfát bevezetése is részben e tartamkísérlethez kapcsolódik. Joseph Henry Gilbert kémikus és Lawes közösen fejlesztették ki a szuperfoszfát műtrágyát és egyúttal megfelelő tudományos kísérleti körülmények között vizsgálták alkalmazásának hatásait. Ma Rothamsted ad otthont a világ egyik legeredményesebb mezőgazdasági kutatóintézetének.

Hazai tartamkísérletek

Magyarországon a növénytermesztés, és értelemszerűen az ezzel kapcsolatos kutatás és fejlesztés évezredes múltra tekinthet vissza. Irodalmi forrásokból ismert számos szabadföldi kutatás, de tartamkísérleteink csak a 20. század elejétől maradtak fenn, a többit elvitték a történelmi események. Milyen feladatok szolgálatában állítottak be tartamkísérleteket hazánkban? Elsősorban a növények élettani folyamataival kapcsolatos ismeretek megszerzése érdekében, valamint konkrét termesztési talajművelési és földhasználati összefüggések tanulmányozására (Várallyay 2006, Láng et al. 2007, Berzsenyi és Árendás 2009). A korelnök, ma is működő hazai tartamkísérletet Westsik Vilmos állította be Nyíregyházán 1929-ben. E kísérlet célja elsődlegesen a homoktalajokon alkalmazható növénytermesztési módszerek tanulmányozása volt. Ennek megfelelően különböző vetésforgó rendszereket alakítottak ki. A talaj-növény rendszer két legsúlyosabb problémája itt a talajszerkezet változatossága, inhomogenitása, illetve a vízellátottság biztosítása volt. Ez a közel évszázados tartamkísérlet számos elméleti és gyakorlati eredményt adott a hazai és a nemzetközi szakmai közösségnek.

A martonvásári kísérleteket Győrffy Béla professzor állította be 1958-ban. A kísérletek elsődleges célja a növénytáplálás és a vetésforgók változatainak, valamint a trágya és a műtrágya kölcsönhatásainak tanulmányozása volt. A kísérlet számos konkrét ismeretet adott a szántóföldi növények fajtaspecifikus reakcióival kapcsolatban. A kísérleteket polifaktoriális rendszerben, ismétléses kezelésekkel alakították ki, így adatbázisa mind a mai napig statisztikailag értékelhető.

Az 1963-ban alapított Országos Műtrágyázási Kísérletek (OMTK) a magyar mezőgazdasági kutatás mindmáig legkomolyabb, országos hálózatot teremtő vállalkozása volt. Az OMTK növénytáplálási kísérleteit azért hozták létre, hogy megbízható adatokat gyűjtsenek a szántóföldi növények tápanyag-ellátásáról és annak növényélettani, illetve gazdasági hatásairól Magyarország minden régiójában. A kísérleti hálózatot Láng Géza professzor kezdeményezte Debreczeni Béla, Antal József és Bocz Ernő aktív részvételével. A hajdani hálózat ma már csak töredékeiben maradt fenn. De, ami fennmaradt, az tovább is fejlődött. Ilyen például a most 40 éve alapított Látóképi kísérleti tér, amely az eredeti célokat immár meghaladva, kutatási bázisává vált az öntözés, a precíziós gazdálkodás és a fajtakísérletezés innovációs fejlesztéseinek is.

Növénytermesztési és talajművelési kísérletek. Az elmúlt fél évszázad során számos növénytermesztési és talajművelési kísérlet indult egy-egy adott agroökológiai területen zajló növényélettani folyamat jobb megértése érdekében. Értékes eredmények születtek a termés hozam mennyisége és minősége, az abiotikus és biotikus stressztűrő képesség, a talajszennyezés és kármentesítés, valamint az éghajlatváltozás jelenségei terén.

A tartamkísérletek nemcsak tudományos érdekességek, vagy egy élő múzeum megbecsült relikviái, hanem nagy értékű élő ökológiai modellek, amelyeket soha nem lehet helyettesíteni vagy újraindítani, ha megszűnnek vagy felfüggesztik működésüket, az egyenlő a tönkretételükkel. Ezek a kísérletek értékes és egyben dinamikus adatbázisokat biztosítanak a tudományos problémák megoldásához.

A tartamkísérletek ezért fontos és pótolhatatlan eszközök a növénytermesztés, az agrokémia, a talajtan és az agroökológia alapkutatásában. Szerepük hasonló az ember alkotta eszközökhöz, műszerekhez vagy berendezésekhez, például a fitotronokhoz, liziméterekhez, hidropóniákhoz vagy egyéb növénynevelő berendezésekhez.

A regisztrált hazai országos tartamkísérletek főbb adatai*

A tartamkísérletek helyszíne és száma, valamint a főbb vizsgált témák	Létrehozás éve
Nyíregyháza 3 Témák: vetésforgó, növénytaplálás,	1929
Fülöpszállás 1 Témák: vetésforgó, növénytaplálás	1982
Keszthely 12 Témák: komplex agronómia, növénytaplálás, növényfajok és fajták	1963
Debrecen (Látókép, Hajdúböszörmény) 6 Témák: komplex agronómia, növénytaplálás, öntözés, növényfajok és fajták	1967
Iregszemcse, Bicsérd 2 Témák: Növénytaplálás, vetésforgó	1967
Karcag 3 Témák: Növénytaplálás, növényfajok és fajták, agronómiai hatások, liziméteres kísérletek	1984
Szarvas 1 Témák: vetésforgó, növénytaplálás	1989
Kompolt 2 Témák: Növénytaplálás, energiatermesztés	1967
Gödöllő (Józsefmajor, Nagyombos) 3 Témák: Növénytaplálás, talajművelés, komplex agronómia	1972
Nagyhörcsök 6 Témák: Növénytaplálás, agronómiai hatások	1967
Órbottyán 2 Témák: Növénytaplálás, agronómiai hatások	1959
Nyírlugos 1 Témák: növénytaplálás	1962
Martonvásár 15 Témák: növénytaplálás, fajok és fajták, agronómiai hatások	1958

Forrás: *Kismányoky és Jolánkai (2017)*, *2017-óta nem készült hivatalos kataszter a tartamkísérletekről, így a táblázat több, azóta megszűnt kísérletet is felsorol.

A tartamkísérletek agronómiai előnyei

A tartamkísérletek alapvetően a természetstechnológiai problémák tisztázása és a biológiai, növényélettani kérdések megválaszolása érdekében jöttek létre. Amint azt az előző szakaszokban kiemeltük, ezeknek a vizsgálatoknak a célja és feladatai különbözőek voltak, azonban volt két közös jellemzőjük; mindegyiket tudományos szempontok szerint megtervezett kezelésekkel, matematikailag értelmezhető elrendezésben alakították ki, továbbá az ezek által nyert adatok és ismeretek másik haszna, hogy információt képes nyújtani a kutatóknak és a gyakorlati gazdálkodóknak egyaránt.

A tartamkísérletek többségét folyamatosan bemutatják a szakmai közösség, a közoktatás, a szakoktatás és a felsőoktatás hallgatói, tanárai, de akár a laikus érdeklődő látogatók számára, és nyílt napok formájában lehetőséget adnak az adott kísérletekben folyó kutatómunka és az azok által kapott eredmények megismerésére.

A tartamkísérletek haszna az oktatásban

Tudományos értéküktől és hasznosságuktól függetlenül a tartamkísérletek fontos szerepet játszanak az oktatásban. Az oktatás különböző ágai, beleértve az alap- és mesterképzéseket, a PhD képzést, a szakképzést és a továbbképzési és szaktanácsadási tevékenységeket, szinte beláthatatlan hasznot nyerhetnek a tartamkísérletekből nyert kutatási eredményekből. A mai tartamkísérletek némelyikét eredetileg oktatási célokra is tervezték. Ilyen a már említett nyíregyházi Westsik-kísérlet, amely homoki talajművelési módszereket mutatott be gazdálkodóknak. Más tartamkísérleteket bizonyos specifikus tudományos problémák megoldására állítottak be, de legtöbbjük oktatási célokra is felhasználható. Minden Magyarországon létező tartamkísérlet, függetlenül attól, hogy kutatóintézet vagy egyetem tulajdonában van, és tekintet nélkül arra, hogy ki és milyen módon működteti azt, általában legalább egy, de gyakran több akkreditált oktatási programban vesz részt. E kísérletek rendszeres tudományos és szaktanácsadási programok keretében is látogathatók, tanulmányozhatók.

Gazdasági haszon

A tartamkísérletek szerepet játszhatnak bizonyos gazdasági folyamatok végrehajtásában, valamint a veszélyek és katasztrófák megelőzésében vagy kezelésében. A tartamkísérletek adatbázisai nélkül a legtöbb növénytermesztési technológia és a növényvédelmi beavatkozások többsége kevésbé lenne hatékony. A tartamkísérletek akár nemzetközi kutatási eredmények, anyagok, műszerek és technológiák adaptálása esetén is segíthetnek abban, hogy a helyi viszonyok tekintetében pontosabban, sikeresebben és megbízhatóbban alkalmazzuk azokat. A tartamkísérletek gyakran hozzájárulnak a természeti veszélyek, katasztrófák, éghajlati szélsőségek, anomáliák, járványok, epidémiák és gradációk (pl. árvíz, vízkitermelés, aszály, eutrofizáció, cianidszennyezés, vörösiszap-árvíz stb.) megelőzéséhez, illetve ezek következményeinek elkerüléséhez és kezeléséhez, hogy csak néhányat említsünk az elmúlt évekből. A környezetvédelemnek és a természetvédelemnek tartamkísérleteken kellene alapulnia. Tartamkísérletek, illetve azok adatbázisai nélkül nem lehet érdemi hatástanulmányokat végezni. Ma a környezetvédelem és a természetvédelem egyik legsúlyosabb problémája, hogy legtöbbször tényadatok hiányában gyakran szakmafilozófiai spekulációk mentén alkotják meg posztulátumaikat, és befolyásolják a közvéleményt valamint a döntéshozókat. Magyarország területének több mint 80%-át teresztris ökoszisztémák alkotják, amelyek túlnyomó többsége agrár-ökoszisztéma, ami Európában egyedülálló. Rendelkezünk még ma is elegendő tartamkísérleti adatbázissal ahhoz, hogy a mainál célszerűbb, felelős döntéseket hozzunk környezetünk, egészségünk és gazdaságunk érdekében.

A nemzetközi együttműködés szerepe

A magyar tartamkísérletek virtuális hálózatot képviselnek, és többségük szerepet kap a nemzetközi programokban is. Ezek képezik számos regionális együttműködés alapját. A Kárpát-medencén belül több határon átnyúló együttműködés tartamkísérletek kutatási tevékenységén alapul. A kutatási eredmények hozzájárulnak a természet- és társadalomtudományok problémáinak megoldásához. Néhány példa az utóbbi kiemelésére: Keszthely (Magyarország) - Nyitra (Szlovákia), Látókép-Nyíregyháza (Magyarország) - Livada (Románia), vagy Nagyhörcsök (Magyarország) - Eszék (Horvátország) közös kutatási programok, vagy az OMTK eredményeinek és adatainak felhasználása az EU

éghajlatváltozási kutatási projektjeiben elengedhetetlen a tudományos együttműködéshez (Jolánkai 2008).

Jó példával szolgált két évtizeden keresztül az Alpok-Adria tudományos együttműködés, amely tudományos fórumot biztosított a régió tartamkísérletei kutatási eredményeinek bemutatására és megvitatására. Ezekon a konferenciákon az elmúlt két évtizedben több mint ezer tudományos előadás hangzott el, illetve jelent meg publikáció formájában, amelyek közül mintegy 200 tartamkísérletek eredményeit mutatta be (Jolánkai 2009, Jolánkai et al. 2016). Az e területen folytatott nemzetközi együttműködés rendkívül értékes, és a jövőben is remélhetőleg hozzá fog járulni a növény- és talajkutatáshoz.

IRODALOM

- Berzsenyi Z.–Árendás T.: 2009. Tartamkísérletek jelentősége a növénytermesztés fejlesztésében. MTA Mezőgazdasági Kutatóintézete. Martonvásár.
- Cserhádi S.: 1901. Általános és különleges növénytermelés. Czéh Sándor Könyvnyomdája. Magyaróvár.
- Jolánkai M.: 2008. Ember által befolyásolt ökoszisztémák (Növénytermesztési körülmények, Szántóföldi növénytermesztés, Kártevők, kórokozók, gyomok, Alkalmazkodási lehetőségek, javaslatok. [In: Harnos et al. (eds.) Klímaváltozásról mindenkinek.] Budapesti Corvinus Egyetem. Budapest. 89–129.
- Jolánkai M.: 2009. Az Alpok-Adria tudományos együttműködés – a térség agrárkutatásának fóruma. (Alps-Adria Scientific Cooperation – a regional forum for agricultural research) Magyar Tudomány. 170. 4: 485–489.
- Jolánkai, M.–Bálint, Cs.–Dekemati, I.–Pósa, B.–Soós, R.–Tarnawa, Á.–Kende, Z.: 2016. The history of the Alps Adria Scientific Workshop. Szent István Egyetemi Kiadó. Gödöllő.
- Jolánkai, M.: 2017. Agronomic benefits of long term trials. [In: Makádi, M. (ed.) International Conference of Long Term Field Experiments „LOTEX 2017”.] University of Debrecen Research Institute of Nyíregyháza. Abstract. 43.
- Kellogg, C. E.: 1957. We seek, we learn. [In: Stefferud, A. (ed.) Soil. The yearbook of agriculture 1957.] USDA. Washington DC.
- Kismányoky T.–Jolánkai M.: 2009. A magyarországi tartamkísérletek. [In: Debreczeni B.-né-Németh T. (szerk.) Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967–2001).] Akadémiai Kiadó. Budapest. 25–34.

- Kismányoky T.-Jolánkai M.:* 2017. A magyarországi tartamkísérletek felmérése. Kormánytájékoztató. Magyar Tudományos Akadémia. Budapest.
- Láng, I.-Lazányi, J.-Csépi, N.:* 2007. Joint International Conference on Long-term experiments, Agricultural Research and Natural Resources. University of Debrecen Centre of Agricultural Sciences. Debrecen.
- Várallyay, G.:* 2006. Soil degradation processes and extreme soil moisture regime as environmental problems in the Carpathian Basin. *Agrokémia és Talajtan*. 55. 1-2: 9-18.

A szerzők levelezési címe - Adress of the authors:

*Dr. Jolánkai Márton - Dr. Kassai Mária Katalin -
Dr. Kende Zoltán - Dr. Tarnawa Ákos
Magyar Agrár és Élettudományi Egyetem
Gödöllő
Páter Károly utca 1.
H-2100
*Jolankai.Marton@uni-mate.hu

Tartamkísérletek tervezése és analízise – Győrffy Béla (1928–2002) emlékére ajánlom –

BERZSENYI ZOLTÁN
Agrártudományi Központ
Mezőgazdasági Intézet, LKH, Martonvásár

Összefoglalás

A tartamkísérletek nélkülözhetetlenek a különböző növénytermesztési eljárások és technológiák tartamhatásának tanulmányozásában. Győrffy Béla által Martonvásáron beállított tartamkísérletek több mint 60 évesek és a nemzeti vagyon részének tekintendők. A tartamkísérletek (LTE) parcelláin a méréseket általában minden évben elvégezzük a termés és más növénytulajdonságok esetében. Míg az ANOVA használata az ismételt mérési adatokra speciális esetekre korlátozódik, a többváltozós módszereken alapuló más statisztikai eljárások sokkal realisabbak. Megfelelőbb alternatíva a kevert (mixed) modell analízis, felhasználva az REML módszert. Vetésforgó tartamkísérletben tanulmányoztuk a búza és kukorica vetésforgók vs. monokultúra többváltozós elkülönítését, felhasználva a diszkriminanciaanalízist. Különböző trágyázási kezelések és az év hatását a kukorica termésére kukorica monokultúra és kukorica-búza dikultúra kísérletekben tanulmányoztuk.

Kulcsszavak: kukorica, búza, vetésforgó, trágyázás, stabilitásanalízis, meta-analízis

Design and analysis of long-term experiments – in memoriam Béla Győrffy (1928–2002) –

Z. BERZSENYI

Agricultural Research Centre

Agricultural Institute, ELKH, Martonvásár

Summary

Long-term experiments are indispensable for the analysis of the long-term effects of various crop production methods and technologies. The long-term experiments have been set up in Martonvásár by Győrffy Béla more than 60 years ago and can be considered as part of the national heritage. Measurements made on plots of long-term experiments (LTE) are generally taken each year in the case of crop yield and other plant measurements. While the ANOVA procedure may be applied to repeated measurement data, under restrictive assumptions, other statistical procedures based on multivariate methods are more realistic. A more satisfactory alternative is to perform a mixed model analysis using REML (residual maximum likelihood) methodology. In the long-term crop rotation experiment, we analysed the multifactorial distinction between the wheat and maize crop sequences vs. continuous cropping using discriminant analysis. The effect of various fertiliser treatments and the year on the yield of maize was studied in long-term maize monoculture and maize-wheat diculture experiments.

Keywords: maize, wheat, crop rotation, fertilisation, stability analysis, meta-analysis

Bevezetés

A tartamkísérletek úgy definiálhatók, mint nagyméretű, több mint 20 éves szántóföldi kísérletek, amelyekben tanulmányozzuk a növénytermesztési tényezőket, a tápelem-ciklusokat és a mezőgazdaság környezeti hatásait. Forrásként szolgálnak a mezőgazdasági fenntarthatóság biológiai, biogeokémiai és környezeti dimenzióinak értékelésére; a jövőbeni globális változások előrejelzésére; és a modell alkalmasság és teljesítmény ellenőrzésére (*Rasmussen et al.* 1998). Tartamkísérletek a világ számos országában vannak

és a jelenleg rendelkezésre álló legnagyobb időbeni és térbeni adatbázist képezik az ökoszisztéma változás meghatározására.

A tartamkísérletek közös jellemzője, hogy ugyanazokat a kezeléseket ugyanazokon a parcellákon állítjuk be minden évben, a kezelések időbeni, ún. tartamhatásának tanulmányozása céljából. A tartamkísérletek időtartama függ a kutatás céljától és változik néhány évtizedtől egészen akár 180 évig (Rothamsted). A legrégebbi hazai tartamkísérletek (pl. Martonvásáron, Keszthelyen stb.) több mint 60 évesek, az újabbak (Debrecen) napjainkban 40 évesek.

Egyéves kísérletektől a tartamkísérletekig

Egyéves kísérletek

Rendszerint korlátozza az egyéves kísérleteket, hogy csak egyetlen tenyészidőszakra terjednek ki. Ismételhetők a kísérletek több évben – rendszerint eltérő randomizációval (több helyen beállított kísérletekhez hasonlóan). Olyan kezelésekre korlátozódik, melyeknek közvetlen hatásuk van, és/vagy azokra, melyek egy tenyészidőszakon belül alkalmazhatók. Több agronómiai tényező esetében (vetésforgók, tápanyag feltöltés, inputok kumulatív hatásai stb.) legalább többéves kísérletekre van szükség.

Többéves kísérletek

Lényegében ugyanaz, mint a több helyen beállított kísérlet, azonban a különbségek elsődlegesen a klímával függnek össze inkább, mint más környezeti faktoral. Ideálisan megtartja a blokkstruktúrát, valamint ugyanazt a kezelésstruktúrát, azonban új randomizációval minden évben/helyen. Ha ugyanazon a helyen állítjuk be, akkor több óvatosság szükséges, a különböző kezelések várható hatásától függően. Ha a kezeléseknak csak egyetlen évben van hatása, akkor önálló randomizáció végezhető minden évben (hogy elkerüljük a kezdeti randomizációval összefüggő bármely befolyást). Ha reziduális hatások (utóhatások) lehetősége áll fenn, akkor a kezelések sorozatát több éven keresztül együtt kell tervezni (sor-oszlop elrendezés alapján), hogy az előző kezeléseknak a hatásait becsülni tudjuk. Ha kumulatív hatások érdekelnek bennünket, akkor a kezeléseknak fix helyen kell maradni, azonban óvakodjunk attól, hogy ismételt mérésenként analizáljuk az egyes éveket.

Tartamkísérletek (LTE)

Elsődleges értéke ott van, ahol a kezeléseknek van bizonyos időbeni eleme. A kezelések eltérő időben történő alkalmazása (McRae és Ryan 1996) eltérő típusú információt nyújt – első évben: csak közvetlen és reziduális hatások; minden évben: kumulatív hatások; fix intervallumok: közvetlen, reziduális és kumulatív hatások; rotáció: közvetlen, reziduális és kombinált hatások. Ezenkívül a kezelések változhatnak a tartamkísérletek különböző időszakai között, potenciálisan közvetlen, reziduális és kombinált hatásokat nyújtva.

A tartamkísérletek tervezésének alapelvei

Ideálisan az összes standard alapelvet követni kell. Az *ismétlés* és a *randomizáció* egyaránt szükséges, hogy a kísérleti hiba becslését kapjuk. Mivel a kezelések kumulatív hatása nő az idő folyamán, az ismétlések számának nem kell olyan nagyoknak lenni, mint a rövid idejű kísérletekben. Ismételt mérések (pl. növény termése) az idő folyamán ritkán tekinthetők valódi ismétlésnek. Nincs randomizációja a faktor szinteknek ezekben a mérési időkben és ezáltal nem jelentik a kezelések ismétlését. Mivel a parcella maradékok nem függetlenek időben, a sorozatkorrelációk rendszeresek. *Randomizáció* – óvatosság szükséges a kezelések meghatározásakor (vetésforgó-sorrendek, növény-specifikus inputok) és ezáltal a randomizációs struktúra meghatározásakor. Lehetséges a randomizáció változtatása az időszakok között (kezelések változtatásától függően). A parcellákból *blokkok képzése* csökkenti a kísérleti hibát azáltal, hogy eltávolítja a gradiens hatásokat a tábla variációjának tulajdoníthatóan. Jó stratégia, hogy robusztus blokk struktúrát választunk, amely lehetővé teszi a környezeti gradiens figyelembevételét bármely vagy mindkét irányban. Komputer programok állnak rendelkezésre, melyek kiegyensúlyozott elrendezést generálnak mindkét irányban. *Reprezentatív struktúra* – fontos és valószínűleg egyre fontosabb annak biztosításában, hogy egy tartamkísérlet aktuális maradjon, lehetővé téve a módosítást, mielőtt a kezdeti célok teljesültek. *Alkalmazkodóképesség* (adaptációs képesség) – tervezzük úgy a kísérletet, hogy a későbbiekben legyen lehetőség a kezelés struktúra módosítására. *Az eredeti kísérleti elrendezés rugalmassága* – az időbeni változtatások megkülönböztetik az LTE-t a többi szabadföldi kísérlettől. Az LTE változtatásának módjairól Leigh et al. (1994)

és Poulton (1996) számolt be a rothamstedi kísérletek példáján. Legfontosabbak: 1. minimális változtatások a kezelésekből vagy a növényápolásban, hogy biztosítsuk a kísérlet hosszú élettartamát; 2. a fő célok megtartása, azonban az innovációk beépítése a mezőgazdasági gyakorlatba (fajták váltása, tápanyagszintek módosítása, betakarítási módszerek és növényvédelmi eljárások megváltoztatása); 3. a cél megváltoztatása és a kísérlet folytatása eltérő formában.

Az ilyen változtatások a kísérleti tervek részét kellene, hogy képezzék úgy, hogy a későbbi kezeléseket ne akadályozzák meg az eredeti kezelés összehasonlításokat. Lehetséges stratégiák: (i) ha az LTE-t a parcella felosztásával módosítjuk, akkor a kezdeti parcellák mérete lehetőleg nagy legyen; (ii) tartunk extra kontroll (standard kezelés) parcellákat, melyek átalakíthatók másodlagos kezelésekké, úgymint herbicid kezelés vagy kártevő szabályozás; (iii) építünk be egy extra faktort a meglévő faktoriális kísérletbe; (iv) alkalmazzuk a másodlagos kezelést az egész kísérletben, képezve egy split-plot elrendezést.

Győrffy Béla (1986) a martonvásári tartamkísérletek alapítója a fentiekkel kapcsolatban a következőket írta: *„Tartamkísérletekkel foglalkozni egyidejűleg hálás és háládatlan feladat. Hálás, mert adatainkat az idő függvényében tudjuk elemezni. Veres Péter szavaival élve: „Úgy tudunk a mával foglalkozni, amint jön a tegnaptól és megyen a holnapba...”. Háládatlan, mert mindig szembe kell nézni 3-4 évtized előtti önmagunkkal. Utólag csak nézeteinket, de érdemben kísérleteinket nem változtathatjuk.”*

Célok és célkitűzések. Mint minden kísérletnél, fontos világosan azonosítani a célokat, amikor új tartamkísérlet tervezését kezdeményezzük. Magában kellene foglalni az analízis tervezett módszereit. Az analízisnek többféle módszere lehet, megválaszolva különböző kérdéseket és felhasználva különböző adatokat. Mint minden kísérletnél, a céloknak elő kell segíteni a kezeléseket (kezeléskombinációk) azonosítását, melyeket beállítunk. Ez elvezethet egy faktoriális kísérletsorozathoz és ezáltal lehetővé teszi az eredmények analízisét, követve ezt a struktúrát. A kezeléseket alternatív módon úgy tekinthetők, mint amelyek több különböző rendszert azonosítanak. Egy alternatív analízis számba veheti, hogyan függnek össze az outputok az inputok kombinációjával, melyeket meghatároznak a kezelés faktor szintek

kombinációi. Ezáltal jobb megértését adják azoknak a rendszereknek, mintha csupán a különböző kezeléskombinációk közötti különbségre fókuszálnánk (főhatásokban és interakciókban kifejezve).

Tartamkísérletek különböző típusai. A tartamkísérletek három különböző típusát azonosították, melyek különböző analízis megközelítéseket indokolnak. (i) Tartamkísérletek időben konstans kezelésekkel: a hangsúly az ismételt kezelések közvetlen, kumulatív hatásain és utóhatásán van. Óvatosságra van szükség ezeknek az adatoknak az analízisekor. Fennáll a lehetősége annak, hogy az előző évek reakciói hatással vannak a reakcióra minden évben - a reakciók lehet, hogy nem függetlenek. A megközelítés függ az autokorreláció bizonyosságától. (ii) Tartamkísérletek időben változó kezelésekkel: a fókuszálás a rotációkon van, összehasonlítva mind az egyes növényeket ezeken belül és mind a rotációk kombinált hatását. (iii) Tartamkísérletek, melyek a rendszerváltozásra irányulnak: ahol az érdeklődés a különböző (termesztési) rendszerek teljesítménye iránt van, tervezhetjük a kezeléseket úgy, mint rendszereket. Egy alternatív megoldás a különböző rendszerekre, hogy az input faktorok kombinációjából képezzük. Mindkét esetben azonban modellezhetjük a reakciókat úgy is, mint input változók függvényei.

Beállítani a kezeléseket egyidejűleg minden parcellán megfelelő a legtöbb LTE esetében. Néha azonban a lépcsőzetes kezdés előnyben részesíthető. Vetésforgó kísérletekben egy lépcsőzetes kezdet szükséges lehet, hogy reprezentatív növényt kapjunk minden évben. A lépcsőzetes kezdet az időjárási körülmények tágabb mintázatát adja, így az eredmények általánosabbak lesznek a blokkokon és az időjárási körülményeken keresztüli ismétlésnek tulajdoníthatóan.

Tartamkísérletek analízise

Az adatok (pl. termés) egy tartamkísérletből minden kezelt parcellán végzett ismételt mérések formájában vannak. Mivel a talajtermékenység és a parcellára jellemző más faktorok a különböző években korrelálnak, ugyanazon a parcellán mért termésekről logikusan nem feltételezhető, hogy független hibákkal rendelkeznek. A reziduumok (maradékok) közötti korrelációkat egyik évről a másikra, *sorozat korrelációnak* ('serial correlation') hívjuk. A sorozat korreláció fontosságának becslése a tartamkísérletek analízisének

elválaszthatatlan része. Még a tartamkísérletekkel összefüggő egyedülálló probléma (a fix és random hatások keveredése) nélkül is, az időben ismételt mérési adatok egy speciális kihívást jelentenek a statisztikai analízisben.

Ugyanazon a parcellán végzett ismételt mérések analízisére számos lehetséges megközelítés történt. *Webster* és *Payne* (2002) áttekintést ad az ismételt mérési adatok érvényes statisztikai analíziséről. *Loughin* (2006) és *Loughin et al.* (2007) bemutatja a tartamkísérletek javított statisztikai analízisét, felhasználva a standard elrendezést, továbbá a tartamkísérletek javított tervezését és analízisét. A legáltalánosabb módszerek közé tartoznak: (I) összegező statisztikai mutatók, (II) Varianciaanalízis (ANOVA) és a kevert (mixed) modellek (REML), (III) stabilitásanalízis, (IV) többváltozós módszerek és (V) meta-analízis.

Összegező statisztikai mutatók

Az ismételt mérésekből származó adatokat analizálhatjuk először úgy, hogy minden egyes parcellára valamilyen összegező statisztikai mutatót számítunk ki. Például, tételezzük fel, hogy a reakció változó a növény termése. Ekkor az átlagos (vagy az összes) termést a vizsgált időszakban használjuk fel arra, hogy összehasonlítsuk a különböző kezelésben részesült parcellák általános produktivitását. A termés időbeni változása felhasználható annak meghatározására, hogy a kezelések hasonló trendeket követnek-e. Az ilyen mutatók úgy kezelhetők, mint reakció-változók és analizálhatók a hagyományos módszerekkel, mint amilyen a varianciaanalízis, regresszióanalízis, vagy az általánosított lineáris modellek ('generalized linear models' – GLM). Terjedelmes szakirodalom áll rendelkezésre a hazai tartamkísérletek adatai alapján a búza, kukorica és más növények agrotechnikai reakcióinak vizsgálatáról (pl. *Debreczeni* és *Németh* 2009, *Széles et al.* 2019, *Izsáki* 2021, *Nagy* 2021, *Pepó* 2022). Az összefoglaló mutatók hibájának becslése csupán a kísérletben alkalmazott randomizáción alapszik; nem szükségesek feltételek vagy ismeretek az ismételt mérések kovariancia struktúrájáról. Jegyezzük meg, hogy ha több összegező mutatót választunk, valószínűtlen, hogy egymástól függetlenek legyenek.

Kumulatív terméselemzés

Hazai viszonylatban nagyon népszerű és általánosan elfogadott *Sváb* (1981) által a tartamkísérletekre kidolgozott kumulatív terméselemzési módszer. A

kumulatív módszer lényege az, hogy (a) évenként képezzük a kezelések és báziskezelések közötti terméskülönbséget, (b) majd ezeket a különbségeket ugyancsak évenként kumuláljuk. A nem kumulált különbségek a kezelések egyenkénti és évenkénti hatását fejezik ki a báziskezeléshez képest. A kumulált terméskülönbségek azt mutatják meg, hogy a t-edik évben mennyi valamely kezelés összes terméskülönbsége a báziskezeléshez viszonyítva.

Rowell és Walters (1976) javasolta a polinomiális egyenletek illesztését minden egyes parcella időbeni mérési adataihoz, és ezt követően az egyenletek becsült koefficienseinek reakcióváltozóként történő felhasználását. Valószínűtlen ennek megfelelése a koefficiensek közötti korreláció miatt. Mindazonáltal összefoglaló statisztikai mutatók használata elkerüli a kísérleti egységen (parcellán) belüli korrelációk modellezésének problémáját. Valóban, a polinomokra egy alternatíva a *random koefficiens modell illesztése*, amely becsüli mind a koefficienseket, mind pedig a köztük levő korrelációt. Mindkét megközelítés azonban feltételezi, hogy az időbeni reakció megfelelően modellezhető polinomokkal.

Évenkénti és kombinált varianciaanalízis

Az ANOVA használata az LTE analízisére néhány speciális esetre korlátozódik. Felhasználható a kumulatív kezeléshatások összehasonlítására meghatározott fix időpontokban, vagy két fix időpontban (mint a periódus kezdete és vége) vagy egy időszak átlagos hatásának vizsgálatában. Stabil körülmények között az ANOVA felhasználható, hogy összehasonlítsuk a kísérletsorozatokat közvetlen és utóhatásait, melyeket különböző periódusokban alkalmaztak. Ha az ANOVA-t ismételt mérésekre használjuk ugyanazon a parcellán több éven keresztül, az évekkkel, mint alparcella faktorról, az analízis nagy valószínűséggel érvénytelen. Az ANOVA alapját a független hatások modellje, a 'compound symmetry' speciális korrelációs modell képezi. Az ismételt mérésekre általában a sorozat korrelációk jellemzőek (vagyis nem függetlenek).

Már *Cochran* (1939) felismerte, hogy a tartamkísérlet adatok olyanok, mint az osztott parcellás elrendezésből származó adatok. Ugyanakkor ténylegesen nem javasolta az ismételt mérések analízisét úgy, mintha osztott parcellás elrendezésből származnának, mivel az értelemeszerűen feltételezi, hogy a korreláció minden idő-pár között egyenlő. Az időben megismételt kísérletek értékelési módszerének formai átvételét *Sváb* (1981) is hibásnak tartotta. Ennek ellenére, az ismételt

mérési adatok osztott parcellás analízise, amelyben az idő (év) az alparcella faktor (és természetesen nem randomizált), virágkorát élte a 20. század utolsó évtizedeiben (Steel és Torrie 1980, Petersen 1994). Ez a megközelítés jogosan kritizálható, főleg azon az alapon, hogy a randomizációs teóriával nem igazolható (pl. Yates, 1954). Népszerűsége abból ered, hogy az analízis viszonylag egyszerű. A split-plot modell nagyon egyszerű korrelációs struktúrát tartalmaz az ismételt mérésekre, ezért használata a tartamkísérletek adatsorozatainak analízisére kevésbé javasolható.

A tartamkísérletek elemzése kevert (mixed) modellekkel

Az ismételt mérések analízisének figyelembe kell venni a korrelációt a mérések között ugyanazon a kísérleti parcellán. Több különböző típusú modell van, amelyek a korrelációs struktúrát leírják (pl. az autoregresszív, 'compound symmetry', 'antependence' stb.). Ezek a korrelációs struktúrák specifikálhatók a *mixed modellben*, amely a fix hatásokat és a random hatásokat egyaránt modellezi (Payne 2000). Az utóbbi időben megnőtt a népszerűsége az ismételt mérésekkel kapcsolatos korrelációs struktúra modellezésének a mixed modellek keretében. Három fő előnye: (i) a korrelációs modellek jelenléte, (ii) számos hibafaktor beépítésének lehetősége és (iii) az inkomplett blokk elrendezések adatainak analízise. Számos módszer van a variancia komponensek becslésére. A 'Residual' vagy 'Restricted Maximum Likelihood' (REML) a standard módszer a legtöbb mixed modell programban (Piepho et al. 2003).

A mixed modellek kiterjeszhetőek, hogy figyelembe vegyék a nem normális eloszlású adatokat. A kiterjesztés általánosított lineáris mixed modellként ('generalized linear mixed model') ismert és rendkívül fontos problémás adatoknál, amilyenek a megszámlált adatok (pl. gyomok és rovarok) és a százalékban kifejezett méréseknél (pl. betegség előfordulása, gyomborítottság, kelési arány stb.) (Piepho et al. 2003). A statisztikusok a tartamkísérletek többéves adatsorozatainak analízisére elsősorban a mixed(kevert) modellt javasolják és tartják elfogadhatónak.

Stabilitásanalízis

A termesztés fenntarthatósága csak meghatározott időperiódus relációjában mérhető, és a rendszer fenntarthatóságára ható fontos trendek nyilvánvalóvá

válnak az első 20–40 évben (*Barnett et al.* 1995). A termesztés fenntarthatóságának fontos mutatója a stabilitás. A termésstabilitás időbeni mérése magában foglal legalább három komponenst: (1) átlagos termésszint, (2) a termés variabilitása és (3) a termés összefüggése a helyi környezettel (*Mead et al.* 1986). Az átlag (fix, azaz szisztematikus hatás) és a variancia (random elem) a két fő komponens, amely leírja egy termesztési rendszer reakció mintázatát. *Berzsenyi* (2022) a kísérleti kezelések stabilitását egyváltozós (variancia és regresszió mutatók) és többváltozós (AMMI modell) módszerével vizsgálta. *Piepho* (1998) a stabilitás mutatókat a fix és random komponenseket egyaránt tartalmazó modell keretében tárgyalja.

A stabilitásanalízist korábban ritkán alkalmazták a növénynevelés területén kívül. *Hildebrand* (1984) és *Raun et al.* (1993) felhasználták a stabilitásanalízist tartamkísérletben a trágyázási kezelések értékelésére. *Berzsenyi* és *Györfly* (1995, 1996, 1997) a stabilitásanalízis variancia- és regressziós módszerével tanulmányozta a különböző termesztési tényezők, valamint a vetésforgó és a trágyázás hatását a kukorica, illetve a búza termésstabilitására tartamkísérletekben. *Nagy et al.* (2003) a stabilitásanalízis regressziós módszerével vizsgálta a műtrágyázás és a talajművelés hatását a kukorica termésstabilitására.

A stabilitásanalízis többváltozós módszereihez tartozó AMMI (additív fő hatás és multiplikatív interakció) modell integrálja a varianciaanalízist és a főkomponensanalízist (*Crossa* 1990). Az AMMI analízis első részében a varianciaanalízis az összes variációt három ortogonális forrásra bontja fel: genotípus (G), környezet (E) és genotípus \times környezet interakció (G \times E). Az AMMI analízis második részében a főkomponensanalízis (PCA) a G \times E interakciót több ortogonális főkomponens-változóra (PCA tengelyre) bontja fel.

Vetésforgó kísérletek analízise REML modell alapján

A 'Residual or Restricted Maximum Likelihood' (REML) módszer a lineáris kevert modellek analízisére lehetővé teszi az évenként eltérő maradék (reziduális) varianciák becslését a kombinált analízis során. Az REML használatát a rotációs kísérlet analízisére *Payne* (2016) mutatta be. A rotációs kísérletek analízisének hasonló módszereket használunk, mint a többi szántóföldi kísérletnél, figyelembe kell azonban venni néhány sajátosságot: 1. Az eredményeket több évben rögzítjük és ezek különböző nagyságú variációt

mutatnak. 2. Ugyanazon a parcellán a méréseket több éven keresztül végezzük és az eredmények nem egyforma korrelációs struktúrát mutathatnak. A korrelációk a megfigyelések között csökkennek a nagyobb időbeni távolsággal. 3. Egy növény hatása függhet attól, hol helyezkedik el a rotációs cikluson belül. 4. Lehet, hogy nincs más ismétlés, mint az évek. 5. A kezeléshatások kumulálódnak vagy csökkennek a kísérlet időszakában. Az alapkezelések (műtrágyák, növénytermesztési eljárások, peszticidek stb.) vagy akár a rotációk összetétele változhat a kísérlet során, hogy lépést tartsunk az elfogadott termesztési gyakorlattal. Az első lépés az analízisben, létrehozni megfelelő random modellt. Miután a megfelelő random modellt meghatároztuk, a kezelés modell becsülhető, hogy lássuk, van-e szükségtelen fix tag. A standard módja ennek, hogy megvizsgáljuk a Wald statisztikákat. A végső fix modell tartalmazza a szignifikáns fő hatásokat és interakciókat, valamint az előre jelzett átlagokat és a SED (különbségek standard hibája) értékeket.

Többváltozós módszerek

Míg a legtöbb tartamkísérletben egy elsődleges reakcióváltozó (pl. termés) van, fokozódik az érdeklődés, hogyan hatnak a (termesztési) rendszerek a többféle outputra. Analizálhatjuk minden egyes outputot külön-külön, éveken át vagy kezeléseken keresztül (felhasználva modell megközelítéseket). Azonban valóban érdekesek a kompromisszumok (kiegyenlítődések) és a szinergizmusok, melyeket különböző kezelések (rendszerek) generálnak. Lehetséges azonosítani „jobb” rendszereket, melyek „optimalizálják” az outputokat. A modell összefüggések számba tudnak venni különböző rendszereket (regresszió csoportokkal). A többváltozós módszerek (főkomponens analízis) lehetővé teszik több változó közötti kapcsolatok egyidejű becslését, rendszerek többváltozós elkülönítését (diszkriminancia analízis) a kezeléseek tág tartományán keresztül. Azonosítják az outputok hasonló sorozatával rendelkező kezeléseket. Azonosítják azokat az output változókat, amelyek összefüggnek (szinergizmus) vagy ellentétes reakcióval rendelkeznek (kompromisszum) az adatsorozatban.

Meta-analízis

A tartamkísérletek adatainak meta-analízise felhasználható közös tervezésű és kezeléssorozatú; hasonló tervezésű és hasonló kezeléssorozatú; hasonló célú,

azonban nem közös tervezésű tartamkísérletek elemzésére (*Maclaren et al.* 2022). Szükség van közös mérőszámokra, vagy az adatok transzformációjára közös skálára. Szükség van továbbá közös kezelésekre vagy a kezelések transzformációjára egy közös index sorozatba. Többváltozós megközelítés (pl. PCA) segíthet a kezeléssorozatok összehasonlításában (változó vektorok konfigurációjának vizsgálata). *Mead* (2023) három lépésből álló meta-analízist javasol: 1. Definiáljunk közös kezelés indexeket, 2. Becsült átlagok és varianciák minden kezelésre minden tartamkísérletben, felhasználva a lineáris mixed modellt, 3. (log) termésarányok meta-analízise. Minden tartamkísérletre és tesztnövényre több páros kontrasztot számítunk ki (pl. referencia és összehasonlítandó kezelés).

Több közös kísérlet kombinált meta-analízise történhet az REML eljárással. A cél az, hogy a kezeléshatások becslését kapjuk az összes rendelkezésre álló információ felhasználásával. A meta-analízisnek ez a formája adja a leghatékonyabb becslést, feltéve, hogy az eredeti részletes adatok rendelkezésre állnak. Ahhoz, hogy a kombinált analízis érzékeny legyen, a kísérleteknek hasonló kezelés struktúrával kell rendelkezni és néhány kezelésnek azonosnak kell lenni a kísérletekben.

Anyag és módszer

A tartamkísérleteket Győrffy Béla a kutatóintézet kísérleti területén, Martonvásáron állította be. A kísérleti terület talaja a szántott rétegben enyhén savanyú, felvehető foszforral gyengén és káliummal jól ellátott humuszos vályog, típusa erdőmaradványos csernozjom.

A vetésforgó kísérlet kezelése

A vetésforgó kísérletet 1961-ben állították be kéttényezős, osztott parcellás elrendezésben, négy ismétlésben. A főparcellákat a növényi sorrendek, az alparcellákat a trágyakezelések képezik. A főparcella hét növényi sorrendet foglal magában: 1. Kukorica monokultúra, 2. Búza monokultúra, 3. 3 év lucerna – 5 év kukorica, (KL), 4. 3 év lucerna – 5 év búza (BL), 5. 2 év búza – 2 év kukorica (KB), 6. 3 év lucerna – 3 év kukorica – 2 év búza (KBL), 7. Kukorica - tavaszi árpa - borsó - búza (NF). A kukorica, illetve a búza részaránya a vetésforgótól függően 25%, 37,5%, 50%, 62,5% és 100%.

A kísérlet alparcellái öt eltérő trágyázási rendszert képviselnek. A: Kontroll, trágyázás nélkül, B: 60 t/ha istállótrágya 4 évenként + NPK kiegészítés, C: 5 t/ha szalma, illetve 7 t/ha kukoricaszár évente + NPK kiegészítés, D: a növény által felvett NPK műtrágya, E: Felvett NPK, 15 t/ha kukorica és 10,5 t/ha búzaterméshez.

A trágyázási tartamkísérletek kezelései

A trágyázási kísérleteket kukorica - búza dikultúrában 1958-ban, kukorica monokultúrában 1959-ben, közvetlenül egymás mellett állította be Györffy Béla. A kukorica - búza dikultúra kísérletben a növényi sorrend 2 év kukorica, 2 év búza. Mindkét kísérletet latin négyzet elrendezésben állították be, a monokultúra kísérletet hét kezeléssel, a dikultúra kísérletet hat kezeléssel.

A kukorica monokultúra kísérlet kezelése az alábbiak (2–7. kezelés négy évenként): 1. Kontroll, trágyázás nélkül; 2. 35 t/ha istállótrágya; 3. 17,5 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$); 4. 35 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő mennyiségben NPK műtrágya ($N_1P_1K_1$); 5. 70 t/ha istállótrágya; 6. 35 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_1P_1K_1$); 7. 70 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő mennyiségben NPK műtrágya ($N_2P_2K_2$).

A kukorica - búza dikultúra kísérlet kezelése az alábbiak (2–5. kezelés négy évenként): 1. Kontroll, trágyázás nélkül; 2. 35 t/ha istállótrágya; 3. 17,5 t/ha istállótrágya + NPK műtrágya kiegészítés ($N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}$); 4. 35 t/ha istállótrágya hatóanyagának megfelelő mennyiségben NPK műtrágya ($N_1P_1K_1$); 5. 35 t/ha istállótrágya N-tartalmának megfelelő N-műtrágya (N_1) 1981-ig, 1982-től $N_2P_2K_2$; 6. 35 t/ha istállótrágyában levő N-nek kétszeres mennyisége, a P_2O_5 és K_2O tartalmának fele ($N_2P_{1/2}K_{1/2}$) 1981-ig, 1982-től $N_{160}P_{320}K_{320}$ évente.

Kumulatív terméselemzés

A kumulatív terméselemzés módszerében évenként képeztük az egyes kezelések és a báziskezelés közötti terméskülönbségeket, majd ezeket a különbségeket ugyancsak évenként kumuláltuk. Báziskezelésnek a 2. kezelést (35 t/ha istállótrágya négyévenként) választottuk. A kumulált terméskülönbségek statisztikai analíziséhez az REML (lineáris kevert mixed modell) 'random coefficient regression' módszerét választottuk (Payne et al. 2016). A módszer egyidejűleg modellezi az egyes kezelésekre adott reakciók időbeni változását lineáris vagy

másodfokú, illetve magasabb fokú polinom függvény illesztésével. Az analízis megadja az SED és a becsült LSD értékeket a vizsgált időszakokra, illetve minden előre jelzett évre.

Stabilitásanalízis

A többváltozós AMMI modell varianciaanalízisében a kezelések képezték a genotípusokat, az évek a környezetet és a blokkok az ismétléseket. Az AMMI analízis második részében a kísérleti kezelések stabilitását az I. főkomponens értékek és a termésátlagok (Y és X tengely) koordináta rendszerében ábrázoljuk.

Diszkriminanciaanalízis

A diszkriminanciaanalízis a csoportok elválasztását maximalizáló többváltozós módszer, több kvantitatív változó együttes figyelembevételével. A többcsoportos modellben egy időben több vetésforgó és a monokultúra termését hasonlítottuk össze. Ebben a vizsgálatban, vetésforgótól függően 5–15 kísérleti év adatai szolgáltak alapul. A búza és kukorica forgókat mindkét modellben elkülönítetten vizsgáltuk. Minden vetésforgót és monokultúrát az eltérő tápanyag-visszapótlási rendszereket képviselő öt trágyázási kezelésre (A-E) adott termésreakcióval, mint kvantitatív változóval jellemeztük. A csoportcentroidok közötti különbséget Wilks-lambda mutatóval és F-próbával vizsgáltuk (Berzsenyi és Lap 2002).

Meta-analízis

A kukorica monokultúra és a kukorica-búza vetésforgó kísérletek adatsorozatából 22 évben volt mindkét kísérletben kukorica. A kezelések közül az 1–4. kezelés volt közös a két kísérletben. A két kísérlet kombinált analízisére a meta-analízist az REML módszerrel választottuk. A monokultúra és a vetésforgó 22 évi adatsorát külön-külön is analizáltuk.

Eredmények és következtetések

Búza vetésforgók vs. monokultúra csoportátlagok egyenlőségének vizsgálata diszkriminanciaanalízissel (három- és négycsoportos modell)

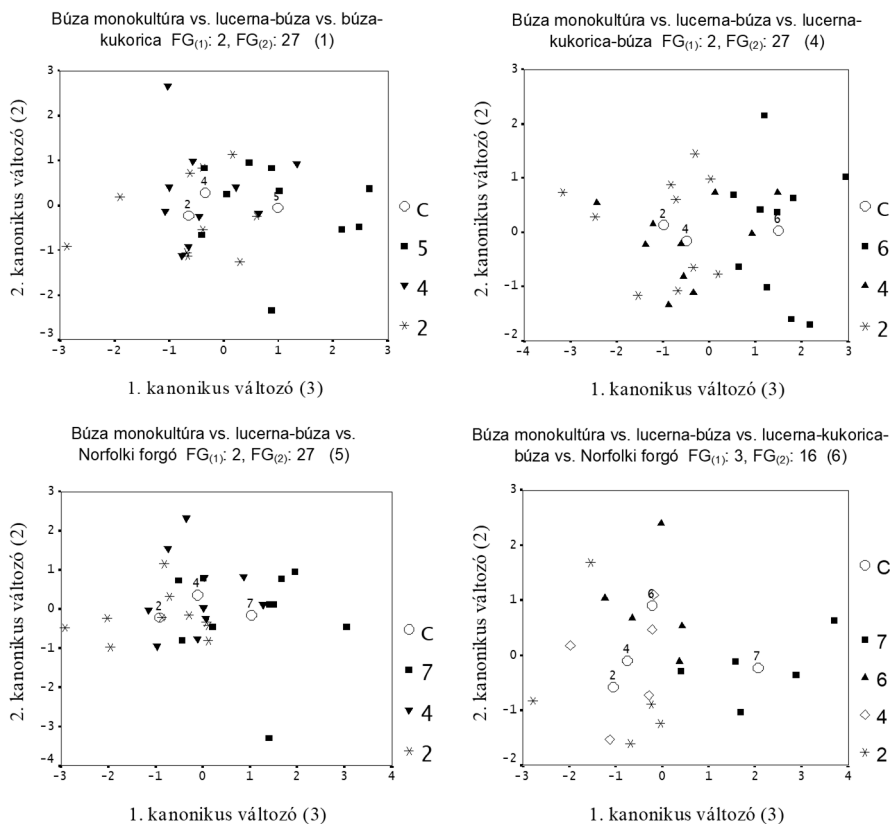
A következőkben a búzakísérlet többcsoportos DA modellel kapott eredményeit mutatjuk be, kétcsoportos modellel kapott eredményekről és a kukoricakísérlet eredményeiről korábbi dolgozatunkban (Berzsenyi és Lap 2002) részletes adatok találhatóak.

A búza monokultúra vs. lucerna-búza vs. búza-kukorica dikultúrák többváltozós összehasonlító vizsgálatára 10 év kísérleti adatai álltak rendelkezésre. A csoportátlagok egyenlőségének vizsgálata (Wilks-lambda, F-érték) nem mutatott ki szignifikáns különbséget egyik változóra sem. A Wilks-lambda χ^2 próbája nem mutatott ki szignifikáns különbséget a csoport-centroidok között (1. ábra).

A búza monokultúra vs. lucerna-búza vs. lucerna-kukorica-búza forgók többváltozós összehasonlításához 10 év kísérleti adatai szolgáltak alapul. A csoportátlagok egyenlőségének vizsgálata szignifikáns különbséget mutatott ki minden változóra. A Wilks-lambda χ^2 próbája azt mutatja, hogy a csoportátlagok P=5%-os szinten különböznek (Wilks-lambda: 0,435). A csoportpárokat összehasonlítva, a lucerna-kukorica-búza trikultúra szignifikánsan különbözött a monokultúrától (F=18,04***) és a lucerna-búza dikultúrától (F=14,03***). A búza monokultúra és a lucerna-búza dikultúra azonban nem különbözött egymástól szignifikánsan (F<1) (1. ábra).

A búza monokultúra vs. lucerna- búza vs. norfolki forgó többváltozós összehasonlítása 10 év kísérleti adatai alapján történt. A csoportátlagok egyenlőségének vizsgálata szignifikáns különbséget mutatott ki az „E” változó kivételével a többi négy változóra. A Wilks-lambda χ^2 próbája nem mutatott ki szignifikáns különbséget a csoportátlagok között. A csoportpárokat összehasonlítva, a norfolki forgó P=1%-os szinten szignifikánsan különbözik a búza monokultúrától (F=11,08**). A búza monokultúra nem különbözik szignifikánsan a lucerna-búza forgótól (1. ábra).

1. ábra. *Búza vetésforgók vs. monokultúra többváltozós elkülönítése diszkriminanciaanalízissel*



Jelölések: C: csoport centroidok; 2: búza monokultúra, 4: lucerna-búza, 5: búza-kukorica, 6: lucerna-kukorica-búza, 7: norfolki forgó (7)

Figure 1. Multivariable separation of wheat crop rotations vs. monoculture using discriminant analysis. (1) Wheat monoculture vs. alfalfa-wheat vs. wheat-maize, (2) 2nd canonical variable, (3) 1st canonical variable, (4) Wheat monoculture vs. alfalfa-wheat vs. alfalfa-maize-wheat, (5) Wheat monoculture vs. alfalfa-wheat vs. Norfolk rotation, (6) Wheat monoculture vs. alfalfa-wheat vs. alfalfa-maize-wheat vs. Norfolk Rotation, (7) Designations: C: group centroids, 2: wheat monoculture, 4: alfalfa-wheat, 5: wheat-maize, 6: alfalfa-maize-wheat, 7: Norfolk rotation.

A búza monokultúra vs. lucerna-búza vs. lucerna-kukorica-búza vs. norfolki forgó többváltozós összehasonlítására 5 év kísérleti adatai álltak

rendelkezésre. A csoportátlagok egyenlőségének vizsgálata (Wilks-lambda, F-érték) szignifikáns különbséget mutatott ki minden változóra. A csoportpárokat összehasonlítva, a norfolki forgó P=0,1%-os szinten szignifikánsan különbözik a monokultúrától és a lucerna-búza forgótól (F=19,89 és F= 16,48), és P=1%-os szinten különbözik a trikulturától (F= 8,71). A Wilks-lambda (értéke 0,396) χ^2 próbája P=0,2%-os szinten szignifikáns különbséget mutatott ki a csoport-centroidok között (1. ábra).

A diszkriminanciaanalízis feltárta a különböző trágyázási rendszerek, mint prediktív változók jelentőségét a vetésforgók és a monokultúra elkülönítésében. A búza vetésforgók és a búza monokultúra összehasonlításakor a diszkriminanciaanalízis szignifikáns különbséget mutatott ki vagy minden változóra (trikultúra, norfolki forgó) vagy az „A” kezelést is magában foglaló két változóra (lucerna-búza dikultúra) vagy az „A” kezelés kivételével minden változóra (búza-kukorica dikultúra). Ebből arra lehet következtetni, hogy a búza vetésforgókban az ún. rotációs hatás nem elsősorban a trágyázás hatásának tulajdonítható, hanem azért más faktorok, folyamatok és mechanizmusok is felelősek. Különösen érvényes ez a megállapítás a búza-kukorica dikultúra és a búza monokultúra összehasonlítására. A csoport-centroidok közötti távolság arányos volt a vetésforgók rotációs hatásával, legnagyobb volt a monokultúra és a trikulturá, illetve a norfolki forgó között.

A diszkriminanciaanalízis fenti eredményei összhangban vannak és részben magyarázatot adnak arra a korábbi vizsgálati eredményünkre, mely szerint a búza vetésforgókban a vetésforgó hatást alapvetően nem módosította a trágyázás, míg kukorica vetésforgókban a trágyázás mintegy felére csökkentette a rotációs hatást (Berzsenyi és Gyórfy 1997, Berzsenyi et al. 2000).

A trágyázás hatásának vizsgálata kukorica monokultúrában

A trágyázás hatását a kukorica termésére monokultúra tartamkísérletben vizsgáltuk az 1959–2009 közötti adatok elemzése alapján. A kísérlet eredményeiről már korábban közölünk adatokat Berzsenyi et al. (2011). Ebben a dolgozatban a kumulatív terméselemzés és stsbilitásanalízis eredményit mutatjuk be.

A trágyázás hatásának vizsgálata kumulatív termésemeléssel

Az istálló- és műtrágya tartamhatását kukorica monokultúrában a báziskezeléshez (35 t/ha istállótrágya négyévenként) viszonyított kumulált terméskülönbségek alapján a 2. ábra szemlélteti.

2. ábra. Az istállótrágya és a műtrágya kumulatív hatása a kukorica termésére monokultúra tartamkísérletben (1959–2009)

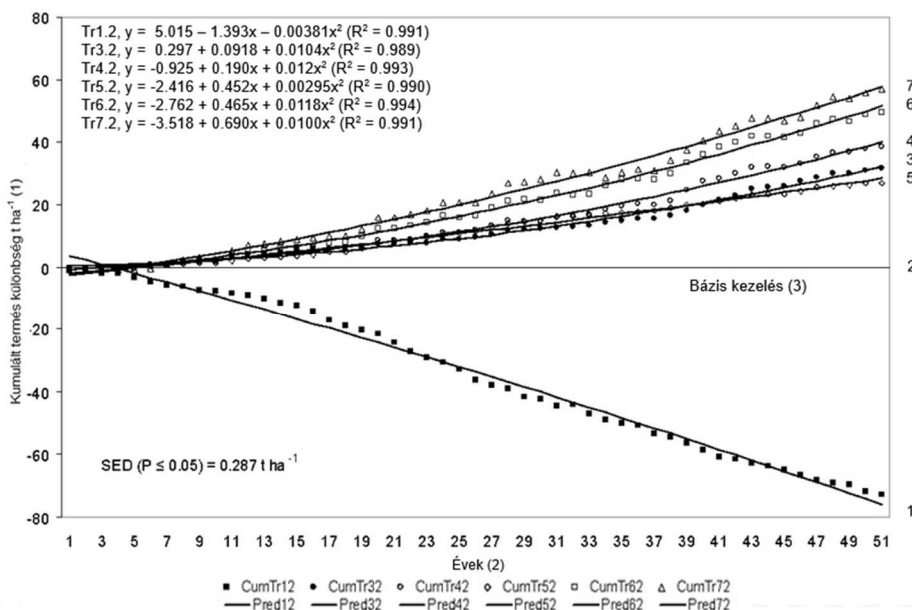


Figure 2. Cumulated effect of farmyard manure and mineral fertilizer on the yield of maize in long-term monoculture experiment (1959–2009). (1) Cumulated yield difference t ha^{-1} , (2) Year, (3) Basic treatment. Treatments: 1. Control, without fertilisation, 2. 35 t ha^{-1} FYM every four years, 3. 17.5 t ha^{-1} FYM every four years + NPK mineral fertiliser ($\text{N}_{1/2}\text{P}_{1/2}\text{K}_{1/2}$), 4. NPK mineral fertiliser equivalent to the active ingredients of 35 t ha^{-1} FYM ($\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_1$), 5. 70 t ha^{-1} FYM every four years, 6. 35 t ha^{-1} FYM every four years + NPK mineral fertiliser ($\text{N}_1\text{P}_1\text{K}_1$), 7. NPK mineral fertiliser equivalent to the active ingredients of 70 t ha^{-1} FYM ($\text{N}_2\text{P}_2\text{K}_2$).

Látható, hogy a trágyázás nélküli kontroll évről évre nagyobb terméseszkökenéshez vezet, görbéje fokozatosan lehajlik. Nem lenne értelme évenkénti átlagos terméseszkökenésről beszélni, mert eleinte kicsi, később mind nagyobb az éves terméseszkökenés. Az 51. évben az összes terméseszkökenés.

a báziskezeléshez viszonyítva 72,9 t/ha, a legjobb 7-es kezeléshez viszonyítva 129,8 t/ha.

A trágyázási kezelések között az első hét évben semmi különbség, az első tíz évben alig volt különbség. A kezeléshatások a 14. évtől kezdenek elkülönülni. Ez fényesen bizonyítja, hogy trágyázási kísérleteknek csak több évtizedes tartamkísérletekben van értelme.

Tulajdonképpen csak a 7. kezelés, azaz a 70 t/ha istállótrágyát helyettesítő NPK dózis eredménye ugrik ki már a 12. évtől és tartja, később fokozza előnyét a többi kezeléssel szemben. A 6. kezelés, azaz a bázis istállótrágya + NPK kiegészítés a 70 t/ha istállótrágyához viszonyítva a 18. évtől jut fokozatos előnyhöz. A 3-5. kezelés fokozatosan leszakad a 6-7. kezeléstől, hatásukban kezdetben nincs különbség, az utolsó 20 évben viszont a 4. kezelés hatása emelkedik ki. Az 51. évben a báziskezeléshez viszonyítva a kumulált terméskülönbség kezelésenként a következő volt (t/ha): 3. kezelés: 31,6; 4. kezelés: 38,6; 5. kezelés: 26,9; 6. kezelés: 49,5; 7. kezelés: 56,9.

A kumulatív terméskülönbségek statisztikai analízisekor az REML analízis erősen szignifikáns ($P < 0,001$) kezelés, idő (év), illetve kezelés \times idő kölcsönhatásokat mutatott ki. A kezelések időbeni változását másodfokú modell írta le (2. ábra). Az LSD ($P \leq 0,05$) értéke a kumulált terméskülönbségekre és a vizsgált időszakra 0,564 t/ha volt.

A kukorica termésstabilitása a különböző kezelésekből és évekből

AMMI analízis alapján a genotípus, a környezet és a $G \times E$ kölcsönhatás egyaránt erősen szignifikáns ($P < 0,01$) és százalékos részesedésük a kezelés-kombináció SS értékéből sorrendben 19,9%; 68,2% és 10,9%. A vizsgált periódus felbontása csapadékos és száraz évekre rámutatott arra, hogy csapadékos évekből a genotípus (kezelés), száraz évekből a környezet és az interakció hatása nőtt a kezelés kombináció SS-en belül. Megfigyelhető, hogy a környezet hatása volt domináns mindhárom adatsorportnál.

A kísérleti kezelések hatását a kukoricatermés variabilitására a többváltozós stabilitásanalízis (AMMI) alapján a 3. ábra szemlélteti. Az X tengelyen a termésátlag, az Y tengelyen a kölcsönhatás főkomponens értékek vannak feltüntetve a hét trágyázási kezelésre (G1-G7) és az 51 környezetre (E1-E51) vonatkozóan. A PCA1 értékek az interakció SS 71%-át értelmezték. A 3. ábrán látható, hogy a G1 (kontroll), valamint a G6 (35 t/ha istállótrágya

+ N₁P₁K₁) és G7 (N₂P₂K₂) kezelés járult hozzá legnagyobb mértékben az interakcióhoz, míg a G3 (17,5 t/ha istállótrágya + N_{1/2}P_{1/2}K_{1/2}), a G5 (70 t/ha istállótrágya) és G4 (N₁P₁K₁) kezeléseknak legnagyobb a termésstabilitása. A 3. ábra jól mutatja a környezet (évek) csoportosulását is. A koordinátarendszer bal alsó negyedében a száraz évek (241 mm csapadék) alacsony terméssel (3,19 t/ha), a bal felső negyedben ugyancsak száraz évek (246 mm csapadék), átlag alatti terméssel (4,33 t/ha) találhatók. A koordinátarendszer jobb oldalán 0 és ±0,5 közötti PCA értéknél találhatók azok az évek, melyekben kedvező volt a csapadékelátottság (354 mm) és magas, stabil volt a termés (7,39 t/ha).

3. ábra. A hét trágyázási kezelés (G1-G7) és az 51 környezet (E1-E51) AMMI diagramja

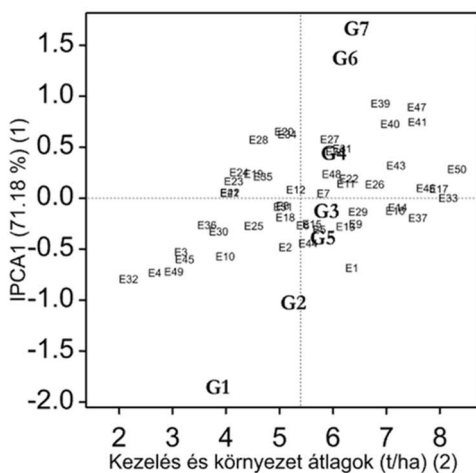


Figure 3. AMMI diagram of the 7 fertilisation treatments (G1-G7) and the 51 treatments (E1-E51). (1) 1st principal component scores, (2) Treatments and environment means (t ha⁻¹)

Kukorica monokultúra és kukorica-búza dikultúra összehasonlító vizsgálata meta-analízissel

Az 1959–2009 között 22 évben volt mindkét kísérletben ugyanabban az évben kukorica. A kezelések közül az 1–4. kezelés volt közös mindkét kísérletben. A 22 év adatait először külön-külön értékeltük REML és AMMI modellel. A Wald mutató F-próbája monokultúrában és dikultúrában egyaránt

$P < 0,001$ szinten szignifikáns különbséget mutatott ki a kezelések között. Dikultúrában minden kezelés szignifikánsan különbözött, monokultúrában a 3. és a 4. kezelés között nem volt szignifikáns különbség. Az AMMI analízis a kezelések megegyező konfigurációját mutatta ki a két kísérletben.

A két kísérlet kombinált értékelésére a meta-analízis a megfelelő módszer. A Wald mutató F-próbája $P < 0,001$ szinten szignifikáns kezelés és rotáció hatást mutatott ki, a kezelés \times rotáció kölcsönhatás azonban nem volt szignifikáns. A kezelések átlagában a kukorica termése monokultúrában 5,022 t/ha, dikultúrában 6,206 t/ha volt, $SzD_{5\%}$: 0,153. A két kísérlet termésadatait a meta-analízis alapján 4. ábra szemlélteti.

4. ábra. A kukorica termése monokultúrában és dikultúrában az összehasonlítható 22 évben, meta-analízis alapján

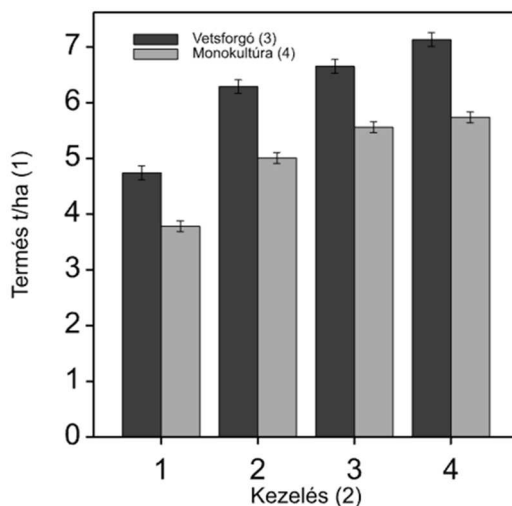


Figure 4. Yield of maize in monoculture and diculture in the comparable 22 years, using meta-analysis. (1) Yield ($t\ ha^{-1}$), (2) Treatments, (3) Crop rotation, (4) Monoculture. Error bars: SED.

Köszönetnyilvánítás

További sikeres évtizedeket, hazai és nemzetközi elismerést kívánok a 40 éves debreceni tartamkísérletek folytatásában.

IRODALOM

- Barnett, V.-Payne, R.-Steiner, R. (eds.):* 1995. Agricultural sustainability. Economic, environmental and statistical considerations. Wiley. New York.
- Berzsényi Z.:* 2022. Stabilitásanalízis a növénytermesztési tartamkísérletekben. Növénytermelés. 71. 1: 99-130.
- Berzsényi, Z.-Árendás, T.-Bónis, P.-Micskei, G.-Sugár, E.:* 2011. Long-term effect of farmyard manure and mineral fertiliser on the yield and yield stability of maize (*Zea mays* L.) in dry and wet years. Acta Agronomica Hungarica. 59. 4: 303-315.
- Berzsényi Z.-Győrffy B.:* 1995. Különböző növénytermesztési tényezők hatása a kukorica termésére és termésstabilitására. Növénytermelés. 44: 507-517.
- Berzsényi Z.-Győrffy B.:* 1996. A vetésforgó és a trágyázás hatása a kukorica termésére és termésstabilitására tartamkísérletben. Növénytermelés. 45: 281-296.
- Berzsényi Z.-Győrffy B.:* 1997. Az istállótrágya és a műtrágya hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére és termésstabilitására monokultúra tartamkísérletben. Növénytermelés. 46: 509-527.
- Berzsényi, Z.-Győrffy, B.-Dang, Q. L.:* 2000. Effect of crop rotation and fertilisation on maize and wheat yields and yield stability in a long-term experiment. European Journal of Agronomy. 13: 225-244.
- Berzsényi Z.-Dang Q. L.:* 2002. Búza és kukorica vetésforgók elkülönítése diszkriminanciaanalízissel tartamkísérletben. Növénytermelés. 51. 1: 21-37.
- Cochran, W. G.:* 1939. Long-term agricultural experiments. J. R. Stat. Soc. [Ser. A] 6 (Suppl.): 104-148.
- Crossa, J.:* 1990. Statistical Analysis of Multilocation Trials. Advances in Agronomy. 44: 55-85.
- Debreczeni B.-né-Németh T. (szerk.):* 2009. Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967-2001). Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Győrffy B.:* 1986. A kukorica termésére ható növénytermesztési tényezők. Doktori tézisek. MTA. Budapest.
- Hildebrand, P. E.:* 1984. Modified stability analysis of farmer managed on-farm trials. Agron. J. 76: 271-274.
- Izsáki Z.:* 2021. A szarvasi műtrágyázási tartamkísérletek eredményei II. 1990-2010. Szója, lóbab, őszi árpa, rostkender és csicsóka tápanyagellátása. Inform Kiadó & Nyomda. Budapest.
- Leigh, R. A.-Johnston, A. E. (eds.):* 1994. Long-term experiments in agricultural and ecological sciences. CAB International. Oxford. UK.
- Loughin, T. M.:* 2006. Improved Experimental Design and Analysis for Long-Term Experiments. Crop Sci. 46: 2492-2502.

- Loughin, T. M.–Roediger, M. P.–Milliken, G. A.–Schmidt, J. P.*: 2007. On the analysis of long-term experiments. *J. R. Statist. Soc. A.* 170. Part 1: 29–42.
- MacLaren, C.–Mead, A.–van Balen, D.–Claessens, L.*: 2022. Long-term evidence for ecological intensification as a pathway to sustainable agriculture. *Nature sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00911-x>
- McRae, K. B.–Ryan, D. A. J.*: 1996. Design and planning of long-term experiments. *Can. J. Plant Sci.* 76: 595–602.
- Mead, A.*: 2023. Statistical approaches for the design and analysis of LTEs. Előadás. Long-term experiments: Meeting future challenges. Conference. Rothamsted Research. Harpenden. UK. 20th-22nd June 2023.
- Mead, R.–Riley, J.–Dear, K.–Sing, S. P.*: 1986. Stability comparison of intercropping and monocropping systems. *Biometrics.* 42: 253–266.
- Nagy J.*: 2021. Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Budapest.
- Nagy J.–Pakurár M.–Farkas I.–Lakatos L.*: 2003. A műtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésére eltérő talajművelési változatokban. *Növénytermelés.* 52: 139–146.
- Payne, R. W. (ed.)*: 2000. The Guide to GenStat: Part 2, Statistics. VSN International. Oxford.
- Payne, R. W.*: 2016. The design and analysis of long-term rotation experiments. [In: Glaz, B.–Yeater, K. M. (eds.) *Applied statistics in agricultural, biological, and environmental Sciences.*] ASA, CSSA and SSSA. Madison. WI. USA. 299–317.
- Pepó P.*: 2022. A 40 éves debreceni tartamkísérletek néhány fontosabb eredménye. *Növénytermelés.* 71. 3–4: 159–182.
- Petersen, R. G.*: 1994. *Agricultural Field Experiments. Design and Analysis.* Marcel Dekker. New York.
- Piepho, H. P.*: 1998. Methods for comparing the yield stability of cropping systems – review. *J. Agron. Crop Sci.* 180: 193–213.
- Piepho, H. P.–Büchse, A.–Emrich, K.*: 2003. A Hitchhiker's Guide to Mixed Models for Randomized Experiments. *J. Agronomy and Crop Science.* 189: 310–322.
- Poulton, P. R.*: 1996. The Rothamsted long-term experiments: Are they still relevant? *Can. J. Plant Sci.* 76: 559–571.
- Rasmussen, P. E.–Goulding, K. W. T.–Brown, J. R.–Grace, P. R.–Janzen, H. H.–Körschens, M.*: 1998. Long-term agroecosystem experiments: Assessing agricultural sustainability and global change. *Science.* 282: 893–896.
- 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.
- Rowell, J. G.–Walters, D. E.*: 1976. Analysing data with repeated observations on each experimental unit. *J. Agric. Sci. Camb.* 87: 423–432.
- Steel, R. G. D.–Torrie, J. H.*: 1980. *Principles and Procedures of Statistics: A Biometrical Approach.* McGraw Hill. New York.

- Sváb J.*: 1981. Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- Széles, A.-Nagy, J.-Harsányi, E.*: 2019. Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress conditions in Hungary. *Maydica*. 64. 2: 1-14.
- Webster, R.-Payne, R. W.*: 2002. Analysing repeated measurements in soil monitoring and experimentation. *European Journal of Soil Science*. 53: 1-13.
- Yates, F.*: 1954. The analysis of experiments containing different crop rotations. *Biometrics*. 10: 324-346.

A szerző levelezési címe – Adress of the author:

Dr. Berzsenyi Zoltán
Agrártudományi Kutatóközpont
Mezőgazdasági Intézet ELKH
Martonvásár
Brunsztik tér 2.
H-2462
profberzsenyi.zoltan@gmail.com

Növénytermelés

CROP PRODUCTION

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

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

Megjelenés egy kötet négy füzetben.

A Növénytermelést a SCOPUS és a Google Scholar indexeli.

Szerkesztőség:

DEBRECENI EGYETEM MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet

4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

4002 Debrecen, Pf. 400

Telefon: (06 52) 508-310

E-mail: novenytermeles@agr.unideb.hu

Megrendeléseiket az alábbi elérhetőségeinken várjuk:

Herman Ottó Intézet Nonprofit Kft.

1223 Budapest, Park u. 2.

Telefon: (06 1) 362-8100

Fax: (06 1) 362-8104

E-mail: info@agrarlapok.hu

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

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

ISSN 0546-8191

Növényterm 72 (2023) 3

Printed in Hungary



NAGY JÁNOS főszerkesztő

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