

Az évjárat hatása a kukorica (*Zea mays* L.) termésereedményére, szemnedvességére és beltartalmi értékeire (2020–2023)

¹LOVÁSZ ÁGOTA - ²NAGY JÁNOS

¹Saaten-Union Hungária Kft., Lepsény

²Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A kukorica (*Zea mays* L.) Magyarország egyik legfontosabb szántóföldi növénye, melynek termésbiztonsága és minősége az elmúlt években egyre erősebben függött az évjárat és klimatikus viszonyoktól. A 2020–2023 közötti időszak jól példázza, hogy a hőmérsékleti és csapadékviszonyok változékonysága alapvetően meghatározza a termésereedményeket, a szemnedvességet és a beltartalmi paramétereket. Míg 2020-ban a kiegyensúlyozott hő- és vízellátottság magas hozamot, kedvező keményítőtartalmat és hosszabb érési időszakot biztosított, addig 2022-ben a rendkívüli aszály és a rekordmagas hőmérsékletek drasztikus hozamcsökkenést, alacsony szemnedvességet és mérsékelt keményítőtartalmat eredményeztek.

A kritikus fenológiai fázisok – különösen a virágzás és a szemtelítődés – időszakában jelentkező hőstressz és vízhiány a megtermékenyülés sikerességét, a szárazanyag-beépülést és ezáltal a termés minőségét is nagymértékben befolyásolta. A kedvezőtlen évjáratokban gyakran megfigyelhető volt a fehérje- és olajtartalom emelkedése a keményítő rovására, ami fordított összefüggést jelez a mennyiségi és minőségi paraméterek között. A betakarításkori alacsonyabb szemnedvesség ugyan technológiai előnyökkel járhat, de a gyors vízvesztés szerkezeti károsodásokkal és fokozott mikotoxin-kockázattal párosulhat.

A vizsgált időszak eredményei rávilágítanak arra, hogy a klímaváltozásból eredő szélsőséges időjárási tényezők – hőhullámok, aszályos periódusok, csapadékhiány – nemcsak a termésereedményt korlátozzák, hanem a beltartalmi értékeket is módosítják.

A jövőben ezért kiemelt szerepe lesz az évjáráthatáshoz való alkalmazkodásnak: a stressztűrő hibridek használatának, a vetésidő optimalizálásának, a vízmegőrző talajművelési technológiáknak és a célzott öntözési stratégiáknak, amelyek együttesen növelhetik a kukoricatermesztés stabilitását a változó agroklímátikus környezetben.

Kulcsszavak: kukorica, évjáráthatás, hőstressz, aszály, szemnedvesség, beltartalmi paraméterek

Effect of the year on yield, grain moisture, and quality parameters of maize (*Zea mays* L.) (2020–2023)

¹Á. LOVÁSZ – ²J. NAGY

¹Saaten-Union Hungary Ltd., Lepsény

²University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Foods Sciences and Environmental Management, Institute of Land Use, Engineering and Precision Farming Technology, Debrecen

Summary

Maize (*Zea mays* L.) is one of the most important arable crops in Hungary, whose yield stability and quality have increasingly depended on annual and climatic conditions in recent years. The period between 2020 and 2023 clearly illustrates that variability in temperature and precipitation patterns fundamentally determines yield performance, grain moisture content, and quality parameters. While in 2020 balanced heat and water availability ensured high yields, favorable starch content, and an extended ripening period, in 2022 the extreme drought and record-high temperatures resulted in a drastic yield reduction, low grain moisture, and moderate starch content.

During critical phenological phases – particularly flowering and grain filling – heat stress and water shortage greatly influenced pollination success, dry matter accumulation, and thus overall crop quality. In unfavorable years, an increase in protein and oil content at the expense of starch was often observed, indicating an inverse relationship between quantitative and qualitative parameters. Although

lower grain moisture at harvest can offer technological advantages, rapid water loss may lead to structural damage and an increased risk of mycotoxin contamination.

The results of the examined period highlight that extreme weather factors caused by climate change—heatwaves, drought periods, and precipitation deficits—not only limit yield potential but also alter quality traits. Therefore, in the future, adapting to year-to-year variations will play a key role: the use of stress-tolerant hybrids, optimization of sowing dates, adoption of water-conserving tillage practices, and targeted irrigation strategies can collectively enhance the stability of maize production under changing agroclimatic conditions.

Keywords: maize, year effect, heat stress, drought, grain moisture, quality parameters

Bevezetés

Az elmúlt évtizedekben a klímaváltozás hatásai a hazai szántóföldi növénytermesztésben, ezen belül a kukoricatermesztésben is egyre markánsabban jelentkeznek. Az átlaghőmérséklet növekedése, a szélsőséges hőhullámok gyakoribbá válása, a csapadék mennyiségének és eloszlásának kiszámíthatatlansága, valamint a légköri és talajszárazság gyakori előfordulása jelentősen befolyásolja a növény fejlődését és terméshozamát. Magyarország agroökológiai adottságai kedvezőek a kukoricatermesztéshez, azonban a hő- és vízstressz kockázata az elmúlt időszakban számottevően nőtt (*McMillen et al. 2022, Biró és Kovács 2023*).

A szárazságindex vizsgálatai alapján a 19. század második felében (1860–1900) a nedves és a száraz évjáratok előfordulási aránya azonos volt (22,5%), míg az átlagos évjáratok a vizsgált évek több mint felét (55%) tették ki. Ezzel szemben az 1980–2000 közötti időszakban az aszályos évek aránya jelentősen megnőtt (52,6%), az átlagos évjáratoké pedig visszaesett (26,3%). Ez a tendencia komoly hatással van a kukorica fejlődésére és élettani folyamataira, mivel az aszályos évek egyre gyakoribbá válnak, ami fokozott alkalmazkodást és védekezési stratégiákat tesz szükségessé a mezőgazdaságban (*Nyíri 1997, Szász és Tőkei 1997, Varga és Varga-Haszonits 2003, Futó 2024*).

A kritikus fenológiai szakaszok – különösen a virágzás és terméskötés – idején jelentkező hőstressz (≥ 35 °C) és vízhány a megtermékenyülés sikerességét, ezáltal a cső- és szemszámot közvetlenül befolyásolja. A pollen sterilizálódása vagy a bibék kiszáradása a megtermékenyülés elmaradását okozhatja, ami visszafordíthatatlan termésveszteséggel jár. A szemtelí tődés időszakában fellépő aszály csökkenti a szárazanyag-beépülést, ezáltal az ezerszemtömeget és a keményítőtartalmat is. A beltartalmi paraméterekre gyakorolt negatív hatás jelentősen rontja a felhasználhatóságot és a piaci értéket, miközben a keményítőtőminőség, az olajtartalom, a fehérjetartalom és a szemtermés javítására világszerte egyre nagyobb igény mutatkozik a táplálkozási szempontok miatt. (Illés *et al.* 2020, Nagy 2021). A kukoricaszemek minőségi paraméterei az időjárási körülmények mellett nagyban függenek a FAO számoktól is. Minőségvizsgálata alapján a fehérjetartalom a FAO-szám növekedésével megbízhatóan csökkent (a FAO 350 hibridhez képest a FAO 450 hibrid 14%-kal, a FAO 550 hibrid 18%-kal alacsonyabb értéket mutatott), miközben az olajtartalom nem különbözött szignifikánsan (3,82; 3,54 és 3,14%), a keményítőtartalom pedig 2–3%-kal magasabb volt a nagyobb FAO-számú hibrideknél, de ez a különbség nem bizonyult szignifikánsnak (Zelenák *et al.* 2023).

A fehérjetartalom száraz években gyakran emelkedik, elsősorban a szemek szárazanyag-koncentrációjának növekedése miatt. Ugyanakkor ez a növekedés nem feltétlenül jár együtt a fehérje minőségének javulásával: az aminosav-összetétel kedvezőtlen irányban változhat, például a lizintartalom csökkenhet, ami takarmányozási szempontból hátrányos (Ciampitti és Vyn 2014). Az olajtartalom alakulása nagymértékben függ a hibrid genetikai adottságaitól és az éréscsoporttól, azonban száraz körülmények között jellemzően csökken, mivel a kitelí tődés folyamata – különösen a csíraolaj képződése – érzékenyen reagál a vízhányra (Qasim *et al.* 2010).

Az aszályos évek során gyakran megfigyelhető, hogy a kukorica szemének keményítőtartalma mérséklődik. Ennek hátterében elsősorban a fotoszintézis intenzitásának csökkenése és a levelekben képződő asszimilátumok szemekbe történő szállításának zavara áll. A szemtelí tődés kritikus szakaszában fellépő vízhány komoly akadályt jelent a keményítőtőszintézis kulcsenzimeit – például az ADP-glükóz-pirofoszforiláz (AGPáz), a szolúbilis keményítőtő-szintáz (SSS), a keményítőtő-ágazó enzim (SBE) és a szacharóz-szintáz (SUS) – számára. Ezen

enzimek aktivitásának csökkenése gátolja a szárazanyag beépülését, mérsékli az ezerszemtömeget, és végső soron a keményítőtartalom csökkenését eredményezi (Jian *et al.* 2021).

Az aszályos években a kukorica betakarítási szakorai szemnedvesség jellemzően alacsonyabb, ami technológiai szempontból előnyös lehet, mivel mérsékelheti a mesterséges szárítás iránti igényt és ezáltal csökkentheti a szárítási költségeket. Ugyanakkor a túlzottan gyors vízvesztés kedvezőtlen fizikai elváltozásokat idézhet elő a szemekben: a perikarpiumon és az endospermium felületén kialakuló mikrorepedések fokozzák a mechanikai sérülékenységet, növelve a szemek repedezésének és törésének arányát. Ezen strukturális károsodások a mikotoxin-termelő fitopatogén gombák – elsősorban az *Aspergillus* és *Fusarium* fajok – kolonizációját is elősegítik, ami növeli a mikotoxin-kontamináció kockázatát, ezáltal rontva a termény tárolhatóságát és feldolgozási minőségét. A fertőzési veszély és a minőségromlás mérséklése érdekében a betakarítási időzítésének, a célzott nedvességtartalom elérésének és a szárítási technológia megválasztásának optimalizálása elengedhetetlen (Herrera *et al.* 2023).

Az aszály és a hőstressz káros hatásainak mérséklése komplex, egymást kiegészítő agrotechnikai, nemesítési és technológiai megoldásokat igényel. Az aszálytűrő és hőstressz-rezisztens hibridek alkalmazása alapvető fontosságú, mivel ezek kedvezőtlen körülmények között is képesek magasabb terméshozamot nyújtani. A vetésidő optimalizálása – például a korábbi vetés – lehetőséget ad a növénynek arra, hogy a kritikus fenológiai szakaszok egy részét a nyári hőhullámok előtt zárja le, ezáltal mérsékelve a termés kiesést. A víz megőrző talajművelési technológiák, mint a mulcshagyás és a forgatás nélküli művelés, javítják a talaj nedvességmegtartó képességét és csökkentik a párolgási veszteséget. Az öntözés, különösen a precíziós, célzott vízpótlás, jelentősen javíthatja a vízstressz-érzékeny időszakok terméshozamát, ugyanakkor fenntarthatósági és költségtényezők miatt ennek alkalmazása körültekintést igényel. A tápanyagellátás optimalizálása – különösen a nitrogén és a kálium megfelelő arányának biztosítása – elősegíti a stressztűrő képességet és a hozam stabilitását (Hatfield és Prueger 2015, Pokovai *et al.* 2025).

Anyag és módszer

Kísérleti helyszín

A vizsgálat helyszíne a Debreceni Egyetem Agrár Kutatóintézetek és Tangazdaság, Debreceni Tangazdaság és Tájkutató Intézet (DTTI) Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telep (47°83'030" É, 21°82'060" K, 111 m tsz) tartományi területben, melyet 2018-ban Prof. Dr. Nagy János alapított annak a céljából, hogy az egyes kereskedelmi forgalomban lévő nagy termőképességű kiváló kukorica hibridek intenzív körülmények között tesztelhetők legyenek.

A kísérleti terület talaja alföldi csernozjom, középkötött vályog mechanikai összetétellel, jó vízgazdálkodási tulajdonságokkal és közepes humusztartalommal. A terület öntözési lehetősége biztosított, csepegtető rendszerrel.

Vizsgált kukorica hibrid

A vizsgált genotípus a FAO 400-as éréscsoport elején érő, harmonikus növekedési habitusú, robusztus morfológiai felépítésű kukorica, amely magas szintű adaptációs képességgel rendelkezik a különböző agroökológiai feltételekhez. Magas csőállása és arányos növénymagassága elősegíti az optimális fényintercepciót és a fotoszintetikus aktivitás fenntartását a kritikus fenológiai fázisokban. Erőteljes kezdeti fejlődése és jó szárszilárdsága csökkenti a dőlés, valamint a klimatikus és mechanikai stresszhatások kockázatát. A csövek általában nagy átmérőjűek, jól telt szemekkel, amelyek kiegyensúlyozott beltartalmi összetételt biztosítanak. A zöld száron érés és a jó vízleadó képesség elősegíti a betakarításkori alacsonyabb szemnedvesség elérését, míg a kiemelkedő betegségtolerancia – különösen a cső- és szárfuzáriummal szemben – növeli a termesztési biztonságot. E tulajdonságok együttesen alkalmassá teszik intenzív, inputigényes termesztéstechnológiákban való alkalmazásra, miközben a változó évijáratok és klimatikus körülmények között is stabil terméseredményeket biztosítanak.

Meteorológiai viszonyok

A havi átlaghőmérsékletek alakulása a 2020–2023 közötti időszakban jól érzékelteti az évijáratok közötti termikus különbségeket és azok lehetséges hatásait a kukorica fejlődésére. A tavaszi hónapok (április–május) hőmérsékleteiben viszonylag mérsékelt eltérések voltak, ugyanakkor 2021

májusában már enyhe pozitív anomália mutatkozott, ami a kezdeti fejlődési ütemet gyorsíthatta. A nyár eleji (júniusi) értékek 2021-ben és 2022-ben magasabbak voltak, különösen 2022-ben, amikor a korai hőterhelés a vegetatív fejlődés és a virágzás közötti átmenetet érintette. Júliusban – a virágzás és terméskötés kritikus fázisában – 2021-ben és 2022-ben is kiemelkedő, 2–3 °C-kal az átlag feletti hőmérséklet volt jellemző, ami hőstressz kialakulásához vezethetett, míg 2020-ban és 2023-ban a hőmérsékleti viszonyok közelebb álltak az optimálishoz. Az augusztusi hőmérsékletek 2022-ben továbbra is magasak maradtak, fokozva a szemtelítődés időszakában jelentkező párologtatási veszteségeket, míg 2020-ban és 2023-ban kedvezőbb termikus környezet biztosította a szemek fejlődését. Szeptemberben minden vizsgált évben mérséklődött a hőmérséklet, de a 2020-as év mutatta a legkedvezőbb csökkenést a betakarítást megelőzően, ami hozzájárulhatott a jobb vízellátáshoz és a magasabb termésminőséghez (1. ábra).

1. ábra. Havi átlag középhőmérsékletek a kukorica vegetációs idejében (Debrecen-Látókép, 2020–2023)

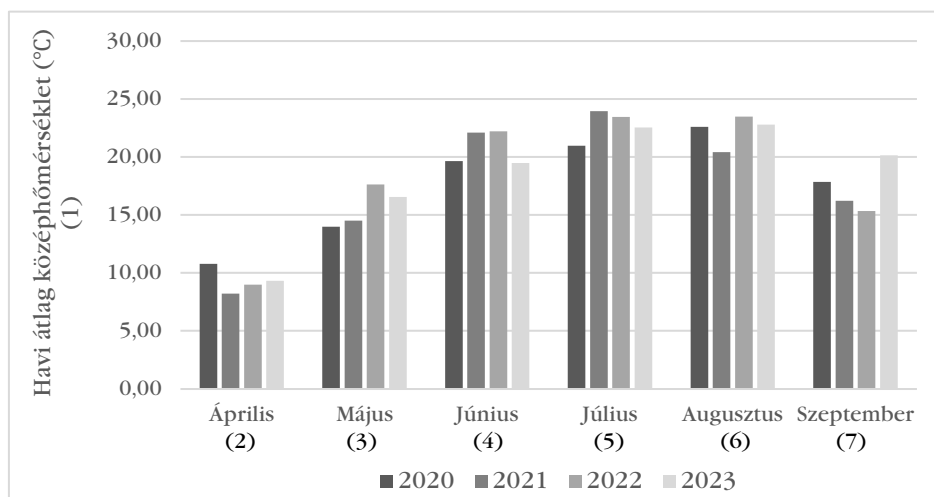


Figure 1. Monthly average mean temperatures during the maize growing season (Debrecen-Látókép, 2020–2023) (1) Monthly average mean temperature (°C), (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) September

A havi csapadékeloszlás a 2020–2023 közötti időszakban markáns évijárati különbségeket mutatott, amelyek döntően befolyásolták a vizsgált genotípus fejlődési dinamikáját és terméseredményeit. A 2020-as év kiemelkedett kedvező vízellátottságával, különösen júliusban, amikor rendkívül magas csapadékmennyiség hullott, biztosítva a virágzás és terméskötés időszakában a zavartalan vízellátást. Ezzel szemben 2021-ben a június–júliusi időszakban jelentős csapadékhiány alakult ki, ami a magas hőmérsékletekkel együtt fokozta a klimatikus stresszt és mérsékelte a hozamokat. A 2022-es év szélsőségesen aszályos volt: május és augusztus között a csapadék mennyisége minden hónapban jelentősen elmaradt a sokévi átlagtól, ami tartós talajaszályt és légköri aszályt eredményezett, kritikus hatással a virágzásra és a szemtelítődésre. A 2023-as év mérsékeltebb csapadékviszonyokat mutatott, össz mennyisége közelítette a sokévi átlagot, ugyanakkor a júliusi alacsony csapadék a magas hőmérséklettel párosulva mérsékelt vízstresszt idézett elő. Az adatok alapján megállapítható, hogy a csapadék eloszlása – különösen a nyári hónapokban – meghatározó szerepet játszott a terméspotenciál realizálásában (2. ábra).

A hazánkban jellemzően termesztett hibridek effektív hőösszegigénye 1100–1400 °C (Láng 1976). A vizsgált időszakban a szakirodalom szerint minimálisan szükséges 1100 °C hőösszeget a legjobb termésátlagot adó évben (2020) 116 nap alatt, míg a legrosszabb évben (2022) mindössze 100 nap alatt érte el a növény. Ez azt jelenti, hogy 2022-ben a minimum hőösszeg 16 nappal korábban teljesült. A gyorsabb hőösszeg-felhalmozódás a tavaszi és nyári eleji magasabb átlaghőmérsékletek, valamint a tartós meleg időszakok következménye lehetett. Ugyanakkor a hirtelen felmelegedés és a rövidebb vegetációs időszak nem kedvezett a hozamok alakulásának: a növények fejlődése felgyorsult, ami csökkentette a szemképződés és a töltődés idejét. Emellett a korai és intenzív meleg gyakran együtt járt a csapadékhiánnyal, így a 2022-es évben a hőstressz és a vízhiány együttesen jelentős termés kiesést okozott, szemben a 2020-as év kiegyensúlyozottabb, mérsékeltebb hőmérsékleti és csapadékviszonyaival.

2. ábra. Havi összes csapadékmennyiség a kukorica vegetációs idejében
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

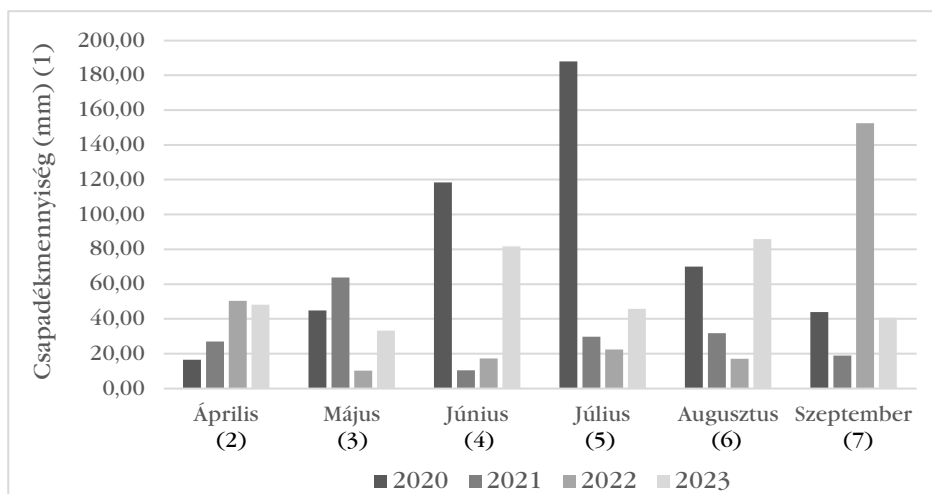


Figure 2. Monthly total precipitation during the maize growing season (Debrecen-Látókép, 2020–2023) (1) Precipitation (mm), (2) April, (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) September

Mérési adatok

A betakarítási munkálatokat minden kísérleti évben Sampo 2010 típusú kétsoros parcella kombájnnal végeztük. A betakarítás időpontját minden esetben az adott évjárat érési dinamikája és az aktuális meteorológiai viszonyok határozták meg. A betakarítás során minden parcelláról rögzítettük a szemnedvességet és a nyers termésmennyiséget, majd a hozamadatokat egységesen 14%-os szemnedvességre korrigáltuk a pontos összehasonlíthatóság érdekében. A betakarítást követően a laboratóriumi vizsgálatok során meghatároztuk a szemek beltartalmi mutatóit, beleértve a fehérje-, olaj- és keményítőtartalmat, szabványos analitikai módszerekkel. A vizsgálati eredmények segítségével lehetőség nyílt az évjáratok közötti minőségi eltérések kimutatására. A kísérlet során a meteorológiai adatok folyamatos gyűjtése és feldolgozása is megtörtént. A napi hőmérsékleti adatokból kiszámítottuk az adott tenyészidőszakra vonatkozó hőösszegeket, amelyeket később a hozamokkal összevetve értékeltünk. Ezen összehasonlítások révén

számszerűsíthetővé váltak a vizsgált genotípus adaptációs különbségei az eltérő évijárat és agroklímatis feltételek mellett.

Eredmények és értékelés

Az évijárat hatása a kukorica termésmennyiségére

A 3. ábra grafikonja jól szemlélteti, hogy a 2020-as év kiemelkedő hozama (100%-ra normalizálva) után a következő években jelentős visszaesés következett be a Debrecen-Látókép kísérleti helyszínen.

3. ábra. Az évijárat hatása a kukorica termésmennyiségére (%) (2020=100%)
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

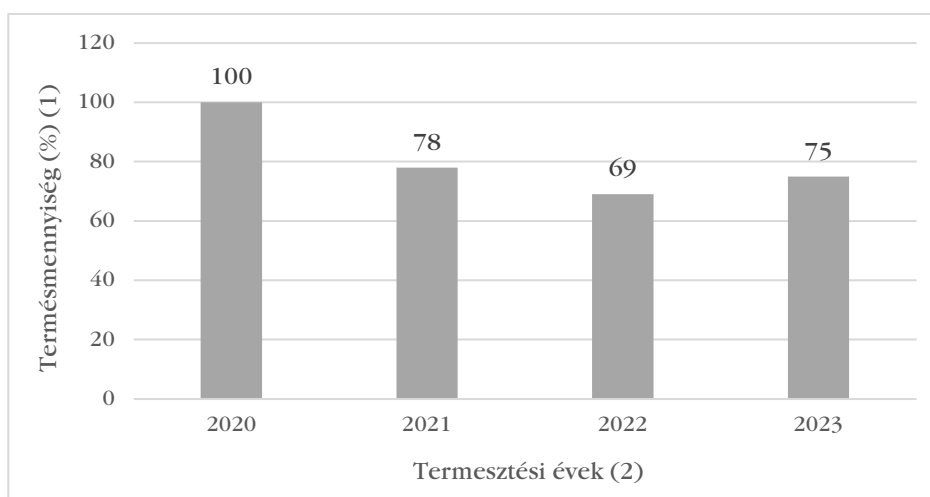


Figure 3. Effect of crop year on maize yield (%) (2020=100%) (Debrecen-Látókép, 2020–2023)
(1) Grain yield, (2) Growing years

2021-ben a termésmennyiség már csak 78%-a volt a 2020-as értéknek, ami összhangban áll azzal, hogy ebben az évben a június-júliusi időszak extrém száraz és meleg volt, a virágzás és terméskötés kritikus fázisaiban víz- és hőstresszt okozva. A 2022-es év még ennél is kedvezőtlenebbnek bizonyult: a termés 69%-ra csökkent, ami a tartós, egész vegetációs időszakon átívelő aszály és a rekordmagas hőmérsékleti anomáliák következménye. A 2023-as év már mutatott némi javulást (75%), ami a kiegyensúlyozottabb csapadékeloszlásnak és a

kedvezőbb hőmérsékleti viszonyoknak köszönhető, ugyanakkor a júliusi csapadékhiány és mérsékelt hőstressz továbbra is akadályozta a rekordhozam visszaállítást. Összességében a trend egyértelmű: a klimatikus szélsőségek határozottan rontják a kukorica terméspotenciáljának kihasználását, különösen, ha azok a virágzás és szemtelí tődés időszakában jelentkeznek (3. ábra).

Az évjárat hatása a kukorica szemnedvességére

A szemnedvesség alakulása 4. ábrán látható, ami a 2020–2023 közötti időszakban egyértelműen tükrözi az adott évjáratok agroklimatikus sajátosságait és a kukorica érési dinamikáját.

4. ábra. Az évjárat hatása a kukorica szemnedvességére (%)
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

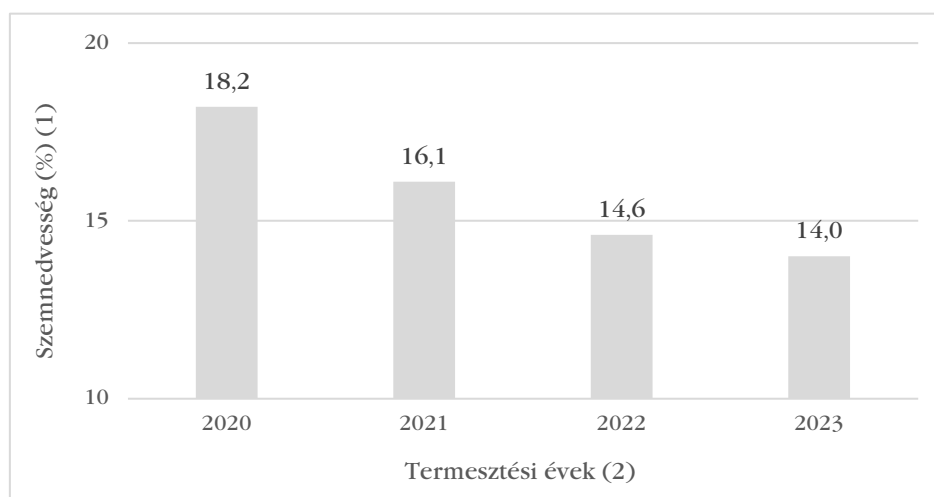


Figure 4. Effect of crop year on maize grain moisture content (%), (Debrecen-Látókép, 2020–2023) (1) Grain moisture (%), (2) Growing years

A 2020-as év magasabb szemnedvessége (18,2%) arra utal, hogy az érés üteme mérsékeltebb volt, amit az optimális vízellátottság és kiegyensúlyozott hőmérsékleti viszonyok segítettek elő. Ennek következtében a szemtelí tődés időszaka hosszabbra nyúlt, ami kedvezett a maximális terméspotenciál elérésének, ugyanakkor magasabb betakarítási táskori nedvességtartalmat eredményezett. A

2021–2023 közötti csökkenő tendencia (2021: 16,1%, 2022: 14,6%, 2023: 14,0%) szoros összefüggésben áll az évek során gyakrabban előforduló víz- és hőstresszes periódusokkal, amelyek gyorsították az érési folyamatokat. Kiemelten a 2022-es év rendkívüli aszálya idézett elő korai érést és alacsonyabb nedvességtartalmat, mivel a növények a kedvezőtlen körülmények miatt rövidített életciklussal zárták a tenyészidőszakot. A 2023-as év kedvezőbb csapadékviszonyai ellenére a júliusi mérsékelt hő- és vízhiány szintén hozzájárult a betakarításkor alacsonyabb szemnedvességhez. Eredményeink azt jelzik, hogy a klimatikus stresszhatások nemcsak a hozam nagyságát, hanem a szemek fiziológiai érésének ütemét is jelentősen befolyásolják, ami technológiai és gazdasági szempontból is meghatározó tényező a kukoricatermesztésben (4. ábra).

Az évjárat hatása a kukoricaszem fehérjetartalmára

A kukoricaszem fehérjetartalmának alakulása a 2020–2023 közötti időszakban jól mutatja a termésminőség és az évjárat hatása közötti összefüggéseket (5. ábra).

5. ábra. Az évjárat hatása a kukoricaszem fehérjetartalmára (%)
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

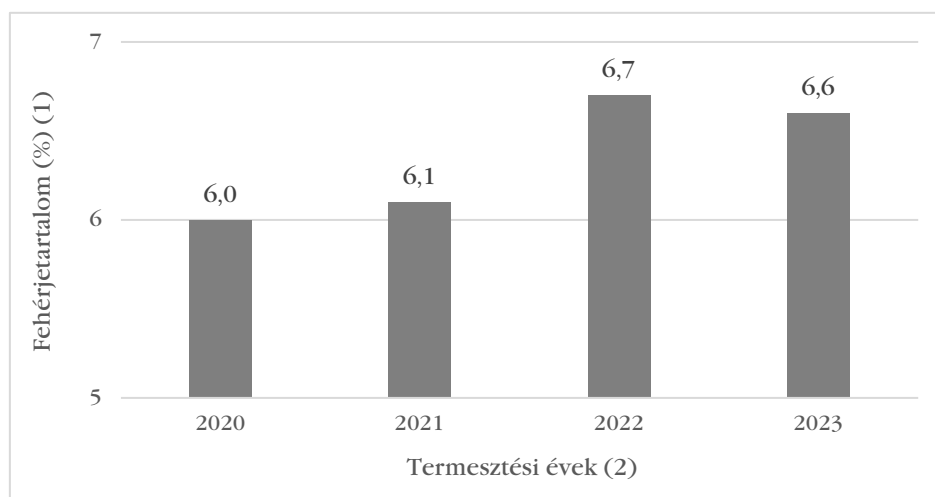


Figure 5. Effect of crop year on maize grain protein content (%), (Debrecen-Látókép, 2020–2023) (1) Protein content (%), (2) Growing years

A 2020-as és 2021-es évek viszonylag alacsony fehérjetartalma (6,0% és 6,1%) magasabb termésmennyiséggel párosult, ami a hí gulási hatással magyarázható: kedvező környezeti feltételek mellett a szemtelí tődés során a szénhidrátok nagyobb arányban halmozódnak fel, így a fehérje százalékos aránya mérséklődik. Ezzel szemben a 2022-es év szélsőséges aszálya és magas hőmérsékleti terhelése – amely jelentős hozamcsökkenést okozott – a fehérjekoncentráció emelkedéséhez vezetett (6,7%), mivel a kedvezőtlen feltételek korlátozták a keményí tőfelhalmozódást, miközben a nitrogén- és fehérjetartalom relatíve magas maradt. A 2023-as évben, noha a termésmennyiség valamelyest javult a 2022-es mélyponthoz képest, a fehérjetartalom továbbra is magas szinten maradt (6,6%), ami arra utal, hogy a mérsékelt nyári ví z- és hőstressz még mindig kedvezett a fehérjekoncentráció fokozódásának. Az adatok összességében alátámasztják, hogy a kukorica fehérjetartalma fordított összefüggést mutathat a hozammal, és a klimatikus stresszfaktorok – különösen az aszály és a hőhullámok – nemcsak a mennyiségi, hanem a minőségi paramétereket is szignifikánsan befolyásolják (5. ábra).

Az évjárat hatása a kukoricaszem olajtartalmára

A kukoricaszem olajtartalmának változása a 2020–2023 közötti időszakban markáns összefüggést mutat az évjáratok klimatikus sajátosságaival és a termésmennyiség alakulásával. A 2020-as év alacsonyabb olajtartalma (3,32%) a kedvező ví zellátottság és a magas termésmennyiség következménye lehet, amely hí gulási hatást eredményezett a lipidtartalom százalékos arányában. Ezzel szemben a 2021-es, 2022-es és 2023-as évek magasabb olajtartalma (3,64–3,81%) szoros kapcsolatban áll a mérsékelt vagy jelentős hozamcsökkenéssel, különösen a 2022-es aszályos évben. Az olajtartalom növekedése kedvezőtlen körülmények között részben fiziológiai adaptációként értelmezhető: a hő- és ví zstressz hatására a keményí tőszintézis gátlódhat, miközben az olaj- és fehérjeszintézis relatíve magasabb arányban megy végbe. A 2022-es és 2023-as értékek (3,81% és 3,80%) lényegében azonosak, ami arra utal, hogy a mérsékelt, de a kritikus fenofázisokat (virágzás, szemtelí tődés) még mindig érintő stresszhatások fenntartják a magasabb olajtartalmat. Az eredmények alátámasztják, hogy az olajtartalom – a fehérjetartalomhoz hasonlóan – fordítottan korrelálhat a termésmennyiséggel, és érzékeny indikátora lehet az évjárat stresszintenzitásnak, különösen száraz és meleg tenyészidőszakokban (6. ábra).

6. ábra. Az évjárat hatása a kukoricaszem olajtartalmára (%)
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

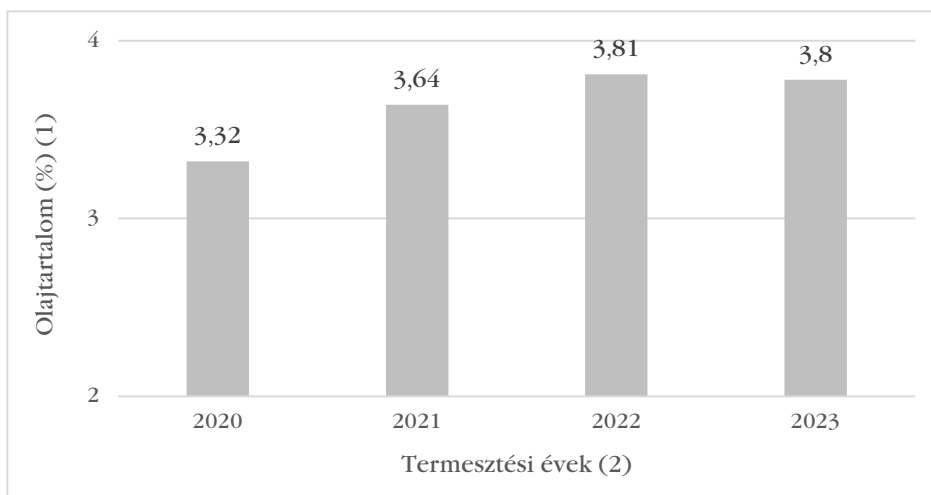


Figure 6. Effect of crop year on maize grain oil content (%), (Debrecen-Látókép, 2020–2023) (1) Oil content (%), (2) Growing years

Az évjárat hatása a kukoricaszem keményítőtartalmára

A kukoricaszem keményítőtartalmának alakulása a 2020–2023 közötti időszakban jól szemlélteti az évjáráthatás minőségi paraméterekre gyakorolt hatását, valamint a klimatikus stressz és a szénhidrátbeépülés közötti összefüggéseket. A 2020-as év magas keményítőtartalma (78,02%) a kedvező vízellátottság és kiegyensúlyozott hőmérsékleti feltételek eredménye, amelyek optimális fotoszintézis-intenzitást és szemteli tődés hosszát biztosították. A 2021-es év értéke (76,20%) ugyan valamelyest alacsonyabb, de még mindig kedvező, annak ellenére, hogy a virágzási időszakban bekövetkezett hő- és vízstressz a hozamot már mérsékelte. A 2022-es év rendkívüli aszálya és magas hőmérséklete azonban drámai visszaesést eredményezett (71,26%), mivel a stresszhatások a keményítősintézis folyamatát és a szemek telítődését jelentősen gátolták, rövidítve az érési periódust. A 2023-as évben bekövetkezett részleges javulás (74,4%) azt mutatja, hogy a kedvezőbb csapadék- és hőmérsékleti viszonyok mérsékeltek a negatív hatásokat, azonban a júliusi csapadékhiány és hőterhelés még mindig korlátozta a keményítő maximális felhalmozódását. A trend

egyértelmű: a keményítőtartalom fordított kapcsolatban áll a fehérje- és olajtartalommal, és különösen érzékenyen reagál a kritikus fenológiai fázisokban fellépő klimatikus anomáliákra (7. ábra).

7. ábra. Az évjárat hatása a kukoricaszem keményítő tartalmára (%)
(Debrecen-Látókép, 2020–2023)

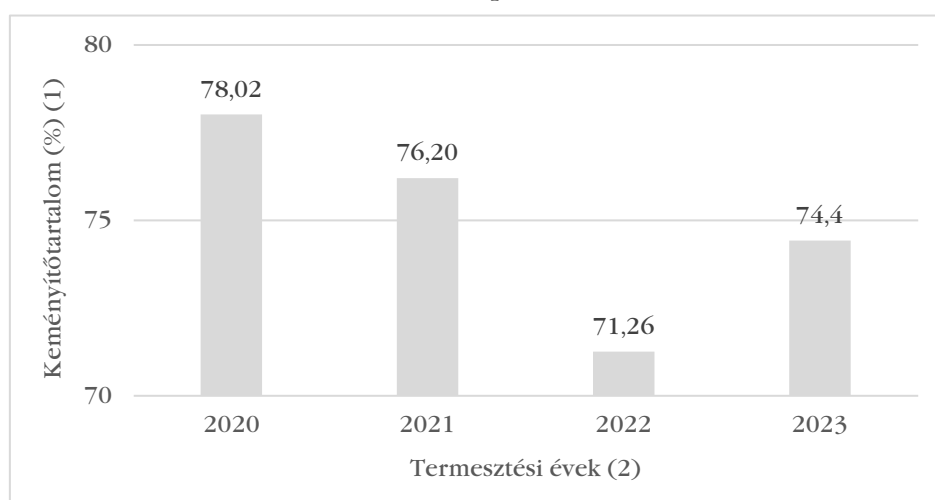


Figure 7. Effect of crop year on maize grain starch content (%), (Debrecen-Látókép, 2020–2023)
(1) Starch content (%), (2) Growing years

Következtetések

A 2020–2023 közötti vizsgálati időszak egyértelműen rávilágított arra, hogy a kukorica terméseredményei, szemnedvessége és beltartalmi értékei jelentős mértékben függenek az adott évjárat klimatikus adottságaitól. A kedvező vízellátottságú és kiegyensúlyozott hőmérsékleti viszonyokkal jellemezhető 2020-as év bizonyult a legjobb teljesítményűnek: a hozamot 100%-ra normalizálva minden későbbi év gyengébben szerepelt. A 2021-es évben a június-júliusi szárazság és hőstressz 22%-os termésnövekedést okozott, míg a 2022-es extrém aszály és tartós hóhullámok következtében a hozam a 2020-as szint 69%-ára esett vissza. A 2023-as év mérsékeltebb időjárása némileg javította az eredményeket (75%), de a júliusi csapadékhiány továbbra is korlátozta a terméspotenciál teljes kihasználását.

A klimatikus szélsőségek hatása a minőségi paraméterekben is megmutatkozott. A kedvezőtlen évjáratokban a fehérjetartalom (max. 6,7%) és az olajtartalom (max. 3,81%) emelkedett, míg a keményítőtartalom jelentősen csökkent (2020: 78,02% → 2022: 71,26%). Ez a változás egyértelműen jelzi a mennyiségi és minőségi mutatók közötti fordított kapcsolatot. A hő- és vízhány a kritikus fenológiai szakaszokban (virágzás, szemtelítődés) közvetlenül rontotta a megtermékenyülés sikerességét, a szárazanyag-beépülést és végső soron a piaci értéket is.

A betakarításkori szemnedvesség a vizsgált időszakban 18,2% (2020) és 14,0% (2023) között változott. Bár az alacsonyabb nedvességtartalom mérsékelheti a szárítási költségeket, a túl gyors vízleadás a szemek mechanikai sérülékenységét növelheti, valamint kedvezhet a mikotoxin-termelő gombák fertőzésének. Ez a tényező a hosszú távú tárolhatóság és a feldolgozási minőség szempontjából különösen fontos.

Az eredmények egyértelműen mutatják, hogy a jövőben a termésbiztonság és minőség fenntartása érdekében alkalmazkodó termesztéstechnológiai megoldások szükségesek. A hő- és aszálytűrő hibridek termesztése, a vetésidő éghajlati kockázatokhoz igazított megválasztása, a vízmegőrző talajművelési eljárások (pl. mulcshagyás, forgatás nélküli művelés) bevezetése, valamint a precíziós, célzott öntözés kulcsfontosságú tényezők lehetnek. Ezek összehangolt alkalmazása hozzájárulhat ahhoz, hogy a kukoricatermesztés a változó agroklimatikus környezetben is fenntartható és versenyképes maradjon, miközben csökkenti az évjárathatásból eredő gazdasági kockázatokat.

Köszönetnyilvánítás

A TKP2021-NKTA-32 számú projekt a Kulturális és Innovációs Minisztérium Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Alapból nyújtott támogatásával, a TKP2021-NKTA pályázati program finanszírozásában valósult meg.

IRODALOM

Biró, K.-Kovács, E.: 2024. Agro-climatic Analysis for Agricultural Adaptation in Hungary. *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*. 32. 2: 141-147.

- Ciampitti, I. A.-Vyn, T. J.:* 2014. Understanding global and historical nutrient use efficiencies for closing maize yield gaps. *Agronomy Journal*. 106. 6: 2107–2117.
- Futó Z.:* 2024. A búza (*Triticum aestivum* L.) és a kukorica (*Zea mays* L.) szárazságtűrésének vizsgálata. *Növénytermelés*. 73. 4: 43–66.
- Hatfield, J. L.-Prueger, J. H.:* 2015. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*. 10: 4–10.
- Herrera, M.-Cavero, J.-Franco-Luesma, S.-Álvaro-Fuentes, J.-Ariño, A.-Lorán, S.:* 2023. Mycotoxins and crop yield in maize as affected by irrigation management and tillage practices. *Agronomy*. 13. 3: 798.
- 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.
- Jian, G.-Lingling, Q.-Yifan, H.-Weiping, L.-Dalei, L.:* 2021. Proteomics reveals the effect of drought stress on the kernel development and starch formation of waxy maize. *BMC Plant Biology*. 21: 434.
- Láng G.:* 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- McMillen, M. S.-Mahama, A. A.-Sibiya, J.-Lübberstedt, T.-Suza, W. P.:* 2022. Improving drought tolerance in maize: tools and techniques. *Front. Genet.* 13: 1001001
- Nagy J.:* 2021. Kukorica. A nemzet aranya. Élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó. Budapest.
- Nyíri L.:* 1997. Az aszálykárok mérséklése. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest. 156.
- Pokovai, K.-Piepho, H. P.-Hartung, J.-Árendás, T.-Bónis, P.-Sugár, E.-Hollós, R.-Fodor, N.:* 2025. Climate change-related lessons learned from a long-term field experiment with maize. *Agronomy for Sustainable Development*. 45: 19.
- Qasim, A.-Muhammad, A.-Farooq, A.:* 2010. Seed Composition and Seed Oil Antioxidant Activity of Maize Under Water Stress. *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 87. 10: 1179–1187.
- Szász L.-Tőkei G.:* 1997. Meteorológia mezőgazdáknek, kertészeknek, erdészeknek. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Varga Z.-Varga-Haszonits Z.:* 2003. A meteorológiai viszonyok hatása a kukorica életjelenségeire I. Növényvédelmi tanácsok. 12. 12: 18–19.
- Zelenák A.-Nagy J.-Széles A.:* 2023. Eltérő FAO-számú kukorica hibridek (*Zea mays* L.) minőségelemzése öntözött termesztésben. *Növénytermelés*. 72. 4: 113–124.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

Lovász Ágota
Saaten-Union Hungária Kft.
Lepsény
Vasút utca 57.
H-8132
lovasz.agota@saaten-union.hu

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