

A 2022-es rendkívüli aszály agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen

^{1,2}GOMBOS BÉLA – ¹NAGY JÁNOS

¹Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²MATE Környezettudományi Intézet,

Öntözésfejlesztési és Meliorációs Tanszék, Szarvas

Összefoglalás

Magyarország jelentős részén, beleértve Debrecen térségét is, rendkívül súlyos aszály alakult ki 2022-ben. Kutatásunk során vizsgáltuk, hogy milyen időjárási viszonyok vezettek a kukorica évtizedek óta nem tapasztalt mértékű termés kieséséhez.

A tenyészidőszakot megelőző téli félévben a talajok mélyebb rétegei nem tudtak vízzel feltöltődni, kifejezetten alacsony volt a kukorica tavaszi induló vízkészlete. Az április hűvös és átlagosan csapadékos volt. Ezt követően gyakorlatilag augusztus második feléig folyamatosan meleg vagy igen meleg, napsütésben gazdag, rendkívül száraz időjárás uralkodott. A havi középhőmérsékletek mindhárom nyári hónapban viszonylag egységesen 2-3 °C-kal haladták meg a sokévi átlagot, 44 volt a hőség napok száma. A nyár folyamán összesen csupán 56 mm csapadék hullott, mindössze két alkalommal volt 10 mm feletti napi mennyiség, ami a levegő igen nagy párolgató képessége miatt nem tudott érdemben hozzájárulni a kukorica vízellátásához. Nyár elejétől a talajaszály nagymértékben korlátozta a vízfelvételt, illetve a transzspirációt, a kukorica igen gyengén fejlődött. A kritikus fenológiai fázisok (virágzás, terméskötés) idejére tovább súlyosbodó aszály (talaj- és légköri aszály együttesen) hatására a kukorica tövek nagy része meddő maradt.

A 2022-es aszály rendkívüliségét az igen meleg, és a meghatározó időszakokban lényegében csapadékmentes nyári időjárás, továbbá a talajok nagyon alacsony induló

vízkészlete együttesen eredményezte. A térségünkben az éghajlatváltozás következtében az aszálykockázat növekedésére számíthatunk.

Kulcsszavak: aszály, időjárás, csapadék, hőmérséklet, kukorica

Agrometeorological characteristics of the extreme drought of 2022 in Debrecen-Látókép

^{1,2}B. GOMBOS – ¹J. NAGY

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

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

²MATE Institute of Environmental Sciences,

Department of Irrigation Development and Melioration, Szarvas

Summary

A large part of Hungary, including the Debrecen area, was facing a very severe drought in 2022. Our research examined the weather conditions that led to maize yield losses on a scale not seen in decades.

In the winter before the growing season, deeper soil layers were not able to replenish water, and the spring water availability of maize was particularly low. April was cool with average rainfall. Thereafter, the weather was warm or very warm, sunny and extremely dry practically until the second half of August. Monthly mean temperatures in all three summer months were relatively uniformly 2–3 °C above the multi-year average, with 44 heat days. In total, only 56 mm of rain fell during the summer, with only two daily rainfall events above 10 mm, which did not contribute significantly to the water supply of the maize due to the very high evaporation capacity of the air. From the beginning of the summer, soil drought severely limited water uptake and transpiration, and maize growth was very poor. The drought (a combination of soil and atmospheric drought), which worsened during the critical phenological phases (flowering and yield formation), left most maize plants infertile.

The exceptional nature of the drought of 2022 is due to the combination of very hot summer weather, with virtually no precipitation during the main periods, and very low initial soil water availability. In our region, we can expect an increase in drought risk as a result of climate change.

Keywords: drought, weather, precipitation, temperature, maize

Bevezetés

Magyarország jelentős részén, különösen az Alföldön rendkívül súlyos aszály alakult ki 2022-ben. A kukorica országos termésátlaga 3,3 t/ha volt, ami a megelőző 20 év átlagának a fele (KSH alapján, *Net1*). Ilyen alacsony érték utoljára az 1960-as években, több mint 50 éve fordult elő, azonban akkor lényegesen kisebb terméspotenciállal rendelkező genotípusok termesztése folyt. Egyes megyék termésátlagai még egyértelműbben mutatják az aszály súlyosságát. Legkisebb, 1 t/ha-os termés Jász-Nagykun-Szolnok, és az egyébként jó termőhelyi adottságokkal rendelkező Békés megyében volt (*Sulyok és Nádas* 2022). A délkeleti országrészben több helyen teljesen megsemmisült a termés, még a kiváló minőségű csernozjom talajokon, jó tápanyag-ellátottság és megfelelő agrotechnika mellett is.

A Hajdúsági löszháton szintén rendkívül nagy volt a kukorica aszály miatti termés kiesése. A Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén folytatott kukorica tartamkísérlet terméseredményei (nem öntözött körülmények között) az idén minden eddiginél gyengébbek voltak (1,5–3,5 t/ha).

A mezőgazdasági aszály a növénytermesztési tér tartós és jelentős vízhiánya a növényfaj (fajta) vízigényéhez viszonyítva, amely mellett a növények, különösen a termesztett növények már visszafordíthatatlan és jelentős károsodást szenvednek. Ha a vízhiány nem tartós, illetve nem jelentős, akkor az nem tekinthető aszálynak. Ez a klasszikus értelemben vett aszályra, a talajaszályra vonatkozik. A növény károsodása jellemzően a talaj diszponibilis vízkészletének 30–50%-a alá csökkenésekor válik egyértelműen láthatóvá, de már ennél magasabb talajnedvesség esetén is bekövetkezik a termés csökkenés, illetve az aszálykár (növényfajtól függően). A száraz, meleg napokon kialakuló légköri aszály oka nem a talajnedvesség elégtelensége, hanem a növényt

körülvevő levegő nagyfokú telítettségi hiánya. A légköri aszály akkor jelentkezik, ha az alacsony légnedvesség ($RH \leq 30\%$) magas hőmérséklettel párosul (≥ 30 °C). Ilyen körülmények között olyan nagy a levegő párologtató képessége, hogy a gyökérszövet nem tudja pótolni a leadott vizet, a növény vízforgalmi egyensúlya felborul, a levélzet lankad.

Magyarország éghajlatának természetes velejárója az aszály. Korábbi vizsgálatok alapján 10 évből átlagosan öt aszályos, amiből 1–2 év súlyosan aszályos (Pálfai 2010). Amennyiben a tenyészidőszak száraz, a hőmérséklet átlag feletti, akkor a nyári időszakra jellemzően kialakul a talajaszályság. A tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszak szárazsága növeli az aszály kialakulásának kockázatát, illetve fokozza annak mértékét (Pálfai 2002).

A kukorica melegigényes növény és jelentős a vízigénye. Magyarországon a termés mennyiségét leginkább meghatározó meteorológiai tényező a csapadék, a kukoricatermelés legnagyobb problémája a vízhiány. A tenyészidőszakban a növény vízigénye jelentősen meghaladja az átlagos csapadékos mennyiséget, a fő termőterületeken 100–150 mm-rel, helyenként 200 mm-rel, csupán a Dunántúl délnyugati részén kisebb mértékű a vízhiány (40–80 mm) (Nagy 2007). Különösen fontos a megfelelő mennyiségű csapadék júliusban és augusztusban, mivel a növény a vízigénye a virágzás, termésképződés és a korai termésfejlődés időszakában a legnagyobb (Antal *et al.* 1992). A hazaitól eltérő éghajlatú területeken folytatott vizsgálatok is megerősítik, hogy a vízhiányra legérzékenyebb fenológiai fázis a címerhányást közvetlenül megelőző időszakról a szemtelítődés középső szakaszáig tart (Nielsen *et al.* 2010). A virágzás idején, vagy kevéssel előtte jelentkező vízhiány a szemszám csökkenését okozza, a megtermékenyítés után bekövetkező szárazság hatására a szemtömeg csökken (Westgate és Boyer 1986, Smith *et al.* 2004). Az intenzív vegetatív fejlődés idején a kukorica kevésbé érzékeny a vízhiányra. Erre utal, hogy az igen száraz (lényegében csapadékmentes) júniusi időjárás önmagában nem csökkenti a termésátlagot az átlagos érték alá (Gombos és Nagy 2019).

Számos kutatás bizonyítja a magas hőmérséklet terméscsökkentő hatását (Schlenker és Roberts 2009, Lobell *et al.* 2013, Ben-Ari *et al.* 2016, Carter *et al.* 2016). A kukorica a reprodukciós fázisban, azon belül is különösen a virágzás idején a legérzékenyebb a hőstresszre (Wheeler *et al.* 2000). A pollen életképességét rontja a 35 °C feletti hőmérséklet, különösen, ha alacsony

légnedvességgel párosul (Fonseca és Westgate 2005), azaz légköri aszály esetén.

Magyarországon az éghajlatváltozás következtében a tenyészidőszak átlaghőmérsékletének további növekedésére, a csapadék kismértékű csökkenésére (nagy bizonytalanság mellett) számíthatunk, egyértelműen növelve az aszályhajlamot (Bartholy *et al.* 2011, Horváth *et al.* 2021). Emellett mind a hőmérséklet, mind a csapadék tekintetében a szélsőségeség fokozódására számíthatunk, ami akár eddig nem tapasztalt mértékű növénytermesztési kihívásokat jelenthet. A változások már több évtizede elindultak. Az elmúlt 40 évben az évi és az évszakos középhőmérsékletek is jelentősen emelkedtek, a hóhullámos napok száma a Dél-Alföldön 12–14 nappal növekedett (OMSZ 2019a). Az évi csapadékösszeg országos átlaga az 1901–2020 időszakban nem mutat szignifikáns trendet, de a nyugati országrészben csökkenés, az Alföldön gyenge növekedés figyelhető meg. Az 1981–2020 időszakra vonatkozóan már országos átlagban is kimutatható az éves csapadék emelkedő trendje (OMSZ 2019b). Mindez arra utal, hogy a növekvő aszályosság elsősorban a hőmérséklet emelkedésével és a csapadék szélsőséges eloszlásával van összefüggésben.

Kutatásunk során vizsgáltuk, hogy milyen hőmérsékleti és csapadékviszonyok mellett alakult ki a rendkívüli termés kiesést okozó aszály Debrecen térségében. Az eredményeink alapján bemutatjuk és értékeljük a kukorica 2022-es tenyészidőszakának meteorológiai jellemzőit.

Anyag és módszer

A kutatási helyszín a Debreceni Egyetem MÉK Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepe (N 47°33', E 21°27', 120 m Bf.). A terület a Hajdúsági löszháton található, Debrecentől mintegy 10 km-rel nyugatra. Talaja kiváló vízgazdálkodású és termőképességű, középkötött (AK 39) alföldi mészlepedékes csernozjom. Az időjárás értékelését a szántóföldi kísérleti parcellák mellett működő automata meteorológiai állomás hőmérséklet és csapadék adatai alapján végeztük el, így reprezentatív információt kapva a környező mezőgazdasági területekről. A sokévi átlagtól való eltérések vizsgálatához referenciaként az Országos Meteorológiai Szolgálat Debrecen-Repülőtér állomásának 1981–2010-es klímaadatai szolgáltak. A napsugárzási

viszonyokat a mezőgazdák által preferált napfényes órák számával mutattuk be, mely adatok az OMSZ Debrecen Repülőtér meteorológiai állomásának méréseiből származnak. A talajhőmérséklet mérése szántásos alpművelésű parcellákban, a kukorica vetőágyba telepített HOBO UA-002 Pendant hőmérsékleti adatgyűjtőkkel történt 5 cm mélységben. Az adatok megbízhatóságának növelése érdekében a hőmérőket három ismétlésben helyeztük a talajba és az adataikat átlagoltuk.

A vizsgálataink módszertana megegyezett az előző, 2021-es évre vonatkozó hasonló tárgyú elemzésünk módszertanával (Gombos és Nagy 2022). A tenyészidőszakban elsődlegesen havi, majd dekád bontásban értékeltük a hőmérsékleti-, csapadék- és napsugárzási viszonyokat (Gombos és Nagy 2019). Ezt kiegészítettük a kelés - kezdeti fejlődés időszakra vonatkozó napi talaj- és léghőmérsékleti információkkal. A dekád hőmérséklet esetében az anomália, a csapadék esetében a tényleges értékek elemzése bizonyult célravezetőbbnek, a grafikus megjelenítésnél ezért ezeket alkalmaztuk. A kukorica fenofázisonként változó igényének figyelembevételével értékeltük a meteorológiai viszonyokat, amelyek jól hasznosíthatók a termésmodellek korszerű fejlesztésében (Nyéki *et al.* 2021, Zelenák *et al.* 2022). Kutatásunk során az időszak általános agrometeorológiai jellemzésén túl vizsgáltuk, hogy milyen hőmérsékleti és csapadékviszonyok mellett alakulhatott ki a 2022-es, rendkívüli termés kiesést okozó aszály Debrecen térségében.

Eredmények

A 2022-es aszály rendkívüli mértékében kétségtelenül szerepet játszott az előző év aszályossága. Az igen száraz 2021-es tenyészidőszakot követő téli félévben is kevés csapadék hullott Debrecen térségében. A Látóképi Kísérleti Telepen hat hónap alatt lehullott 144 mm csapadék 70 mm-rel kevesebb a sokévi átlagnál. Az időszak kissé hidegebb, de napfényben lényegesen gazdagabb volt a szokásosnál (1. táblázat). A talajok mélyebb rétegének feltöltődése nem volt kielégítő. A januártól márciusig összesen lehullott mindössze 32 mm csapadék mellett a napos, szeles időjárás határozottan elindította a talajok felső rétegének kiszáradását. Mindez már előrevetítette egy akár súlyosabb aszály kialakulásának lehetőségét.

1. táblázat. *A hőmérséklet, a csapadék (Debrecen-Látókép) és a napfénytartam (Debrecen-Repülőtér, OMSZ) havi és féléves jellemzői 2022-ben*

Időszak (1)	Középhőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)	Napfénytartam (óra) (4)
Téli félév (X-III.) (5)	3,4 (-0,8)	144 (-70)	891 (+217)
Nyári félév (IV-IX.) (6)	18,5 (+1,0)	268 (-78)	1566 (+50)
Április (7)	9,0 (-2,2)	53 (-3)	177 (-37)
Május (8)	17,6 (+1,0)	10 (-54)	275 (+25)
Június (9)	22,2 (+2,9)	17 (-49)	358 (+89)
Július (10)	23,4 (+2,1)	22 (-44)	312 (+26)
Augusztus (11)	23,5 (+2,7)	17 (-32)	303 (+14)
Szeptember (12)	15,3 (-0,7)	152 (+104)	141 (-67)

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

Table 1. Monthly (and half year) characteristics of air temperature, precipitation at Debrecen-Látókép and sunshine duration (Debrecen-Airport, HMS) in 2022. (1) Period, (2) Mean temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) Sunshine duration (hours), (5) Winter period, (6) Summer period, (7) April, (8) May, (9) June, (10) July, (11) August, (12) September, Note: in brackets the differences from the climatic normal values of 1981–2010.

A szárazság miatt a tavaszi talajmunkákat mindenütt el lehetett végezni már március folyamán. Az áprilist kissé hűvös, átlagosan csapadékos időjárás jellemezte. Az egész tenyészidőszakot tekintve csupán április mutatott jelentős negatív hőmérsékleti anomáliát, a 9,0 °C-os középhőmérséklete 2,2 °C-kal maradt el az átlagostól, de kevésbé volt hűvös, mint a 2021-es április. Májusban viszont már meleg, igen száraz időjárás uralkodott a hónap elejétől kezdődően. A vetés, a kelés és korai vetés esetén még a kezdeti fejlődés szempontjából is összességében kedvezőek voltak a meteorológiai feltételek 2022 tavaszán.

A napi talajhőmérsékleti középértékek április 12-től emelkedtek tartósan a növény bázishőmérséklete (10 °C) felé és a hónap végére érték el stabilan a 15 °C-ot (*1. ábra*). A talaj hőmérséklete néhány nap kivételével több fokkal meghaladta a léghőmérsékletet, az áprilisi időszakban átlagosan 2,1 °C, májusban 4,1 °C volt a hőmérsékleti többlet. Ez kedvező, mert hatleveses állapotig a kukorica tenyészőcsúcsa a talajfelszín alatt található, tehát a

fejlődési sebességet közvetlenül a talaj hőmérséklete határozza meg, a léghőmérséklet hatása közvetve érvényesül.

1. ábra. A talajhőmérséklet (5 cm, szántásos alapművelés) és a léghőmérséklet (2 m) menete (Debrecen-Látókép, 2022. április 8–június 3.)

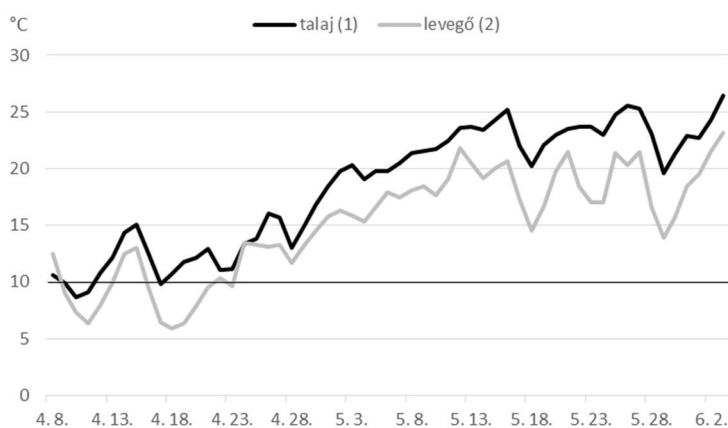


Figure 1. Daily average of soil temperature (at 5 cm depth), air temperature (2 m) and the difference of them (Debrecen-Látókép, 8 April to 3 June, 2021). (1) Soil temperature, (2) Air temperature

A teljes nyári időszak igen meleg és rendkívül száraz volt. A dekádonkénti adatok (2. ábra) mutatják, hogy a száraz periódus már május elején elkezdődött és csak augusztus végén ért véget. Az átlagosnál lényegesen melegebb időszak június elejétől szeptember első dekádjáig tartott, csupán átmenetileg július közepén mérséklődött kissé a hőmérséklet, de ekkor is átlagosan meleg volt az időjárás. A havi középhőmérsékletek mindhárom nyári hónapban viszonylag egységesen 2–3 °C-kal haladták meg az átlagot. A napsütéses órák száma is magas volt, általában kevés felhő jellemezte az időjárást. Nyári teljes csapadékösszeg mindössze 56 mm, ami még a 2021-es 72 mm-es igen alacsony értéktől is elmarad, és csupán egy alkalommal volt ennél kisebb nyári csapadékösszeg 1951 óta (1962-ben 55 mm). Mindössze két alkalommal hullott 10 mm feletti napi csapadék (június 4.: 11,5 mm, július 31.: 12 mm), de ezek a levegő igen nagy párolgató képessége miatt nem tudtak érdemben hozzájárulni a kukorica vízellátásához. A napsütéses órák

száma mindhárom hónapban meghaladta a sokévi átlagot, a napfényben leggazdagabb hónap a június volt (368 óra). A jellemző anticiklonális helyzet, a kevés felhő és száraz levegő miatt nagy volt a napi hőingadozás. Az éjszakai órákban általában $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ alá hűlt a levegő, viszont igen magas (44) volt a hőség napok ($\text{max} \geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$) száma a nyári időszakban.

2. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2022 tenyésztidőszakában (Debrecen-Látókép, 2022)

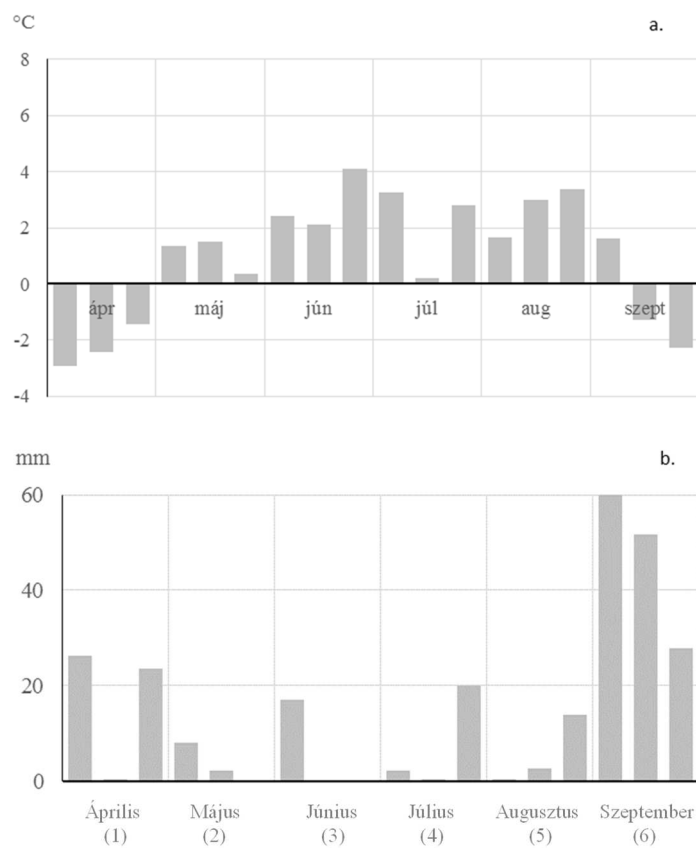


Figure 2. 10-day precipitation sums (b) and anomalies of the 10-day average air temperature values (a) in the growing season (Debrecen-Látókép, 2022). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

A nyár folyamán rendkívül súlyos aszály alakult ki Debrecen térségében (illetve Magyarország jelentős részén). A talaj mélyebb rétegei nem tudtak feltöltődni vízzel a téli félévben, az induló vízkészlet a szokásosnál lényegesen kisebb volt. A tavasszal lehullott csapadék csak rövid ideig biztosította a kukorica megfelelő vízellátottságát, májusban már gyorsan csökkent a talaj nedvességtartalma. Nyár elejétől a talajaszály nagymértékben korlátozta a vízfelvételt, illetve a transzspirációt. Jól megfigyelhető volt a növények gyenge fejlődése, mind a tömeggyarapodás, mind a magassági növekedés tekintetében. Ez – a mértéke miatt – már önmagában termésnövekedést eredményezett volna, annak ellenére, hogy a vegetatív fejlődés időszakában a kukorica még viszonylag kis mértékben érzékeny a vízhiányra. Az időjárás jellege azonban később sem változott, a magas hőmérséklet mellett csapadék lényegében nem esett. A tovább fokozódó talajaszály mellett légköri aszály is kialakult a napok nagy részében. Mindez a kritikus fenológiai fázisokban (virágzás, terméskötés) több helyen teljesen megakadályozta a termésképződést. A térség kiváló minőségű és vízgazdálkodású csernozjom talajain nagy területet érintően a kukorica nem hozott érdemleges termést.

Szeptemberben jelentős fordulat következett be az időjárásban. Igen nagy mennyiségű csapadék hullott. A havi 152 mm-es érték több mint háromszorosa a sokévi átlagnak, illetve meghaladja a 2022 januárja és augusztusa közötti 8 hónap teljes összegét. Ez már túl későn érkezett a kukoricának. A hónap eleje még meleg, de nagyobb része már hűvös volt. A több hetes esős, hűvös időben a kukorica termésének vízleadása vontatottan történt. A talaj nedvességi állapota is akadályozta a betakarítást, amire több helyen csak októberben kerülhetett sor.

Az igen meleg, a meghatározó időszakokban lényegében csapadékmentes nyári időjárás, továbbá a talajok nagyon alacsony induló vízkészlete együttesen igen súlyos aszályt eredményezett. A 2022-es aszály rendkívüliségét leginkább az bizonyítja, hogy a nagyüzemi kukoricatermesztés kezdete óta nem volt az idejéhez hasonló mértékű termés kiesés.

Következtetések

Már 2021-ben is jelentős aszály sújtotta Magyarország fő, az egyik legjobb termőhelyi adottságokkal rendelkező termőterületét, a Hajdúságot. A nyár folyamán (2021-ben) egyáltalán nem hullott a növény vízellátottságához érdemben hozzájáruló csapadék. 2022-es tenyészidőszak nagy része szintén igen száraz és meleg volt, sok hasonlósággal az előző évihez, bizonyos meteorológiai paraméterekben még kedvezőlenebb helyzetet mutatva. Lényeges különbség volt azonban a talajok tavaszi induló nedvességtartalmában. A 2021-es szezon egy csapadékos évet követve, a szántóföldi vízkapacitásukig teljesen feltöltődött talajokkal indult, az a nyári időszakban hozzájárult a növény vízellátásához, enyhítette az aszályt. Ugyanakkor a talajok nagymértékben kiszáradtak és a téli félévben a víz alig pótlódott vissza. Főleg ezzel (és részben a májusi csapadék eltéréseivel) magyarázható, hogy miért volt lényegesen nagyobb termés kiesés 2022-ben.

Az utóbbi két év felhívja a figyelmet a térségre jellemző jelentős és várhatóan növekvő aszálykockázatra. Mindez összhangban van a már végbement és a jövőben várható éghajlatváltozási folyamatokkal.

Köszönetnyilvánítás

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

IRODALOM

- Antal J.–Kismányoky T.–Ragasits I.*: 1992. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- Bartholy J.–Bozó L.–Haszpra L. (szerk.)*: 2011. Klímaváltozás – 2011. Klímaszcenáriók a Kárpát-medence térségére. Budapest. 281.
- Ben-Ari, T.–Adrian, J.–Klein, T.–Calanca, P.–Van der Velde, M.–Makowski, D.*: 2016. Identifying indicators for extreme wheat and maize yield losses. *Agricultural and Forest Meteorology*. 220: 130–140.

- Carter, E. K.–Melkonian, J.–Riha, S. J.–Shaw, S. B.*: 2016. Separating heat stress from moisture stress: analyzing yield response to high temperature in irrigated maize. *Environmental Research Letters*. 11: 094012.
- Fonseca, A. E.–Westgate, M. E.*: 2005. Relationship between desiccation and viability of maize pollen. *Field Crops Research*. 94: 114–125.
- Gombos B.–Nagy J.*: 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés*. 69. 2: 5–23.
- Gombos B.–Nagy J.*: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. *Növénytermelés*. 71. 1: 7–20.
- 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.
- Lobell, D. B.–Hammer, G. L.–McLean, G.–Messina, C.–Roberts, M. J.–Schlenker, W.*: 2013. The critical role of extreme heat for maize production in the United States. *Nat. Clim. Change*. 3: 497–501.
- Nagy, J.*: 2007. Maize Production (in Hungarian). *Kukoricatermesztés*. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Net1*: KSH Fontosabb gabonafélék termésátlaga. www.ksh.hu
- Nielsen, D. C.–Halvorson, A. D.–Vigil, M. F.*: 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research*. 118: 259–263.
- Nyéki, A.–Kerepesi, C.–Daróczy, B.–Benczúr, A.–Milics, G.–Nagy, J.–Harsányi, E.–Kovács, A. J.–Neményi, M.*: 2021. Application of spatio-temporal data in sitespecific maize yield prediction with machine learning methods. *Precision Agriculture*. 22. 5: 1397–1415.
- OMSZ*: 2019a. Magyarország hőmérsékleti viszonyai. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/
- OMSZ*: 2019b. Magyarország csapadék viszonyai. https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/
- Pálfai I.*: 2002. Magyarország aszályossági zónái. *Vízügyi Közlemények*. 84. 3: 323–357.
- Pálfai I.*: 2010. Az aszályok gyakorisága a Kárpát-medencében az utóbbi háromszáz évben. „Klíma-21” füzetek Klímaváltozás-hatások-válaszok. AKAPRINT Kft. Budapest. 59: 42–45.
- Schlenker, W.–Roberts, M. J.*: 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to US crop yields under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 106: 15594–15598.
- Smith, W. C.–Betran, J.–Runge, E. C. A. (eds.)*: 2004. *Corn. Origin, History, Technology, and Production*. Hoboken. NJ. John Wiley. 949.
- Sulyok D. Zs.–Nádas A.*: 2022. A kukoricatermesztés értékelése. Agrárunió. <https://www.agrarunio.hu/hirek/novenytermesztes/8948-a-kukoricatermesztes-ertekelese>

- Westgate, M. E.–Boyer, J. S.:* 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science*. 26: 951–956.
- Wheeler, T. R.–Craufurd, P. Q.–Ellis, R. H.–Porter, J. R.–Vara Prasad, P.:* 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *agric. Ecosyst. Environ.* 82: 159–167.
- 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*. 22. 12: 785.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

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

Dr. Gombos Béla
MATE
Környezettudományi Intézet
Öntözésfejlesztési és Meliorációs Tanszék
Szarvas
Petőfi u. 9.
H-5540

