

A kukoricatermesztési kísérletek meteorológiai viszonyai a Debreceni Egyetem agrár kampuszán a 2022-es tenyészidőszakban

^{1,2}GOMBOS BÉLA - ¹NAGY JÁNOS

¹Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

²MATE KÖTI

Öntözésfejlesztési és Meliorációs Tanszék, Szarvas

Összefoglalás

2022-ben igen súlyos aszály alakult ki Debrecen térségében. A Debreceni Egyetem kukorica kísérleteinek termésátlaga minden eddiginél alacsonyabb volt. Több parcellán a növény lényegében nem hozott termést. Egy ilyen rendkívüli évjárat meteorológiai viszonyainak kiértékelése elengedhetetlen a kukorica aszályérzékenységével kapcsolatos ismeretek bővítésében, a stressztűrési határainak pontosításában. Lehetőség szerint a kísérleti helyen, annak közelében mért meteorológiai adatokra kell támaszkodni. Ennek az igénynek megfelelően vizsgáltuk és mutatjuk be az agrár kampusz meteorológiai viszonyait, elsősorban a kukorica vonatkozásában. A 2022-es aszály rendkívüliségében fontos tényező volt, hogy a megelőző téli félévben nem volt elegendő csapadék a talajok mélyebb rétegeinek feltöltődéséhez. Az április még átlagosan csapadékos volt, ezt követően azonban igen jelentős csapadékhiány alakult ki. A három nyári hónapban összesen 66 mm csapadék esett, ami 115 mm-el elmaradt az átlagostól. A vízhiányt és annak káros hatásait fokozta, hogy a hőmérséklet a május-augusztus közötti időszakban a szokásosnál lényegesen magasabban alakult. Különösen a nyári hónapok voltak a sokévi átlagnál sokkal melegebbek, rendre 3,4 °C, 2,4 °C, illetve 2,9 °C-os pozitív hőmérsékleti anomáliát mutattak.

Kulcsszavak: Debrecen, agrometeorológia, aszály, csapadék, középhőmérséklet

Meteorological conditions of maize growing experiments on the agricultural campus of the University of Debrecen in the growing season 2022

^{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

²Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Institute of Environmental Sciences, Department of Irrigation and Land Improvement, Szarvas

Summary

In 2022, a very severe drought developed in the Debrecen area. The average yield of the maize experiments at the University of Debrecen was lower than ever before. On several plots the crop yielded practically nothing. The evaluation of the meteorological conditions of such an exceptional year is essential to increase knowledge on the drought susceptibility of maize and to clarify the limits of stress tolerance. As far as possible, meteorological data measured at or near the experimental site should be used. In response to this need, we have investigated and presented the meteorological conditions on the agricultural campus, especially for maize. An important factor in the exceptional nature of the 2022 drought was the lack of sufficient precipitation to recharge the deeper layers of the soils during the previous winter. April was still average in terms of rainfall, but thereafter a very significant rainfall deficit developed. In the three summer months, a total of 66 mm of rain fell, 115 mm below average. The lack of water and its adverse effects were exacerbated by the fact that temperatures in the May-August period were significantly higher than normal. In particular, the summer months were much warmer than the long-term average, with positive temperature anomalies of 3.4 °C, 2.4 °C and 2.9 °C respectively.

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

Bevezetés

2022-ben igen súlyos aszály alakult ki Debrecen térségében. A Debreceni Egyetem kukoricatermesztési kísérleteinek termésátlaga minden eddiginél alacsonyabb volt. Több parcellán a növény lényegében nem hozott termést. Ez az év is bizonyítja, hogy kukoricatermesztésben az egyik legjelentősebb kockázati tényező az időjárás.

A tenyészidőszakot megelőző téli félév hatása közvetett módon, a talajon keresztül érvényesül. Elsősorban a tavaszi kezdő hasznosítható vízkészlet nagysága számít, ugyanis a vegetációs időszakban ez jelentősen hozzájárulhat a növény vízellátásához. *Pálfai* (2002) hazai aszályvizsgálatai során megállapította, hogy a tenyészidőszakot megelőző őszi-téli időszak szárazsága növeli az aszály kialakulásának kockázatát, illetve fokozza annak mértékét. A márciusi időjárás (a csapadék és a párolgást meghatározó tényezők) a felső talajrétegek nedvességi állapotán keresztül a talajelőkészítési munkák fontos tényezője.

A vegetációs időszak csapadékösszege és a debreceni kísérletek termésátlaga között erős pozitív korreláció mutatható ki (*Nagy* 2012). A kukorica fejlődésének egyes szakaszaiban ugyanakkor eltérő jelentőségű a csapadék, illetve a vízhiány. A kelést követően a vegetatív fázisban a kukorica vízigénye fokozatosan növekszik. Ekkor a csapadékos időjárás kedvező, azonban a száraz időjárás sem okoz jelentős károsodást. Lényegében csapadékmentes júniusi időjárás önmagában nem csökkenti a termésátlagot az átlagos érték alá (*Gombos és Nagy* 2019). A címerhányást közvetlenül megelőző napoktól a szemtelítődés középső szakaszáig tart az időszak, amelyben a kukorica legérzékenyebb a vízhiány-stresszre (*Nielsen et al.* 2010). A terméskötés utáni vízellátottsági probléma ezerszem-tömeg csökkenést okoz, míg a korábban jelentkező szárazság elsősorban a szemszám csökkenésben nyilvánul meg (*Westgate és Boyer* 1986, *Smith et al.* 2004).

Magyarországon az éghajlatváltozással összefüggésben az éves és az évszakos középhőmérsékletek, valamint a hóhullámos napok száma is növekvő tendenciát mutat az utóbbi évtizedekben (*OMSZ* 2019) és a jövőben további melegedésre számíthatunk. Számos kutatás bizonyítja a magas nyári hőmérséklet terméscsökkentő hatását (*Lobell et al.* 2013, *Ben-Ari et al.* 2016, *Carter et al.* 2016), amely várhatóan egyre fontosabb tényezővé válik a hazai kukoricatermesztésben. A kukorica a virágzás idején a legérzékenyebb a hőstresszre (*Wheeler et al.* 2000).

A 2022-es rendkívüli évjárat meteorológiai viszonyainak vizsgálata elengedhetetlen a kukorica aszályérzékenységével kapcsolatos ismeretek bővítésében, a stressztűrés határainak pontosításában. A modern kukoricatermesztés során az időjárás figyelembevétele mellett fontos tényező a modellezés, mellyel a betakarítás előtt meghatározhatjuk a várható termés mennyiséget (*Nyéki et al.* 2021). A környezeti stresszviszonyok leküzdésére alkalmas genotípusok helyes megválasztása és a genotípushoz igazodó tápanyagellátás nagyon fontos, mivel ezek nagyban meghatározzák a termesztés hatékonyságát (*Széles et al.* 2019). Az időjárási szélsőségek – mint például a korai vetés okozta hideghatás – sok esetben hatást gyakorolnak a termesztett növényekre, mint például a kukorica hibridek szemtermésének beltartalmi értékeire (*Széles et al.* 2019). Emellett szinte bármely növénytermesztési kísérlet kiértékelése során figyelembe kell venni az időjárási viszonyokat. Lehetőség szerint a kísérleti helyen, annak közelében mért meteorológiai adatokra kell támaszkodni. Ennek az igénynek megfelelően vizsgáltuk és mutatjuk be a Debreceni Egyetem agrár kampusz meteorológiai viszonyait elsősorban a kukorica tenyészidőszakára fókuszálva.

Anyag és módszer

A Debreceni Egyetem agrár kampusz területén különböző nagyságú szántóföldi kísérleti területek, parcellák helyezkednek el. Ezen területek sajátos meteorológiai viszonyokkal rendelkeznek, melynek ismerete alapvető fontosságú a kísérletek kiértékelése során. A Földhasznosítási, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet 2019-től automata meteorológiai állomást üzemeltet a területén, kezdetben csak a tenyészidőszakban a kukoricaállományban, 2021-től már a tenyészidőszakon kívül is a parcellák mellett levő füves területen. Ez utóbbi mérések léghőmérsékleti és csapadék adatait használtuk fel a vizsgálatunk során. A napsugárzási viszonyokat a mezőgazdászok által preferált napfényes órák számával mutatjuk be, mely adatok az OMSZ Debrecen Repülőtér meteorológiai állomásának méréseiből származnak.

A 2021-es évről szóló, hasonló tárgyú kutatásunk módszertanát követtük, valamint az időjárási viszonyok bemutatásában is ugyanazt a sémát használtuk (*Gombos és Nagy* 2022). A hőmérsékleti- és csapadékviszonyokat a tenyészidőszakban elsődlegesen havi, majd dekád bontásban értékeltük. A dekádhőmérséklet esetében az anomália, a csapadék esetében a tényleges

értékek elemzése volt célravezetőbb, a grafikus megjelenítésnél ezért ezeket alkalmaztuk. Az időjárás alakulásának részletes bemutatásához felhasználtuk a csapadék-, valamint a középhőmérséklet, minimum és maximum hőmérséklet napi adatait is. A kukorica fenofázisonként változó éghajlati igényének, illetve a kritikus tényezőinek figyelembevételével értékeltük a 2022-es év tenyészidőszakának meteorológiai viszonyokat. A tenyészidőszakot megelőző téli félév időjárását az előzőekben bemutatott okok miatt kevésbé részletesen, havi felbontású adatbázis alapján vizsgáltuk.

Eredmények

A 2021/22-es téli félév időjárása

A tenyészidőszakot megelőző téli félév átlagos hőmérsékletű, száraz és napfényben igen gazdag volt. Az időszak középhőmérséklete pontosan megegyezett a sokévi átlaggal (4,2 °C). A napfénytartam elérte a 891 órát, ami 217 órával több, mint a klimatikus átlag. A hat hónap alatt lehullott 150 mm csapadék 64 mm-rel (30%-kal) marad el a szokásostól (*1. táblázat*). Ez a vízmennyiség nem volt elegendő a talajok mélyebb rétegeinek föltöltéséhez a 2021-es aszályos tenyészidőszak után. Megjegyzendő, hogy a téli félév második felében (január-március) uralkodó napos, szeles időjárás határozottan elindította a talajok felső rétegének kiszáradását. A tavaszi talajmunkákat lényegében tetszőlegesen korán el lehetett végezni.

A 2022-es tenyészidőszak időjárása

A tenyészidőszak 18,9 °C-os középhőmérséklete az átlagosnál magasabban (+1,4 °C) alakult, ezen belül sajátos menetet mutatva (*1. ábra*). Május elejétől szeptember elejéig kivétel nélkül minden dekád pozitív hőmérsékleti anomáliát mutatott. Előtte áprilisban és utána szeptember utolsó két dekádjában viszont a szokásosnál hűvösebben alakult az időjárás. A tenyészidőszak alapvetően igen száraz volt. A nyári félévben leesett 320 mm-es csapadékadat igen félrevezető, nem utal szárazságra. Valójában ennek több mint fele szeptemberben esett, amikor a kukorica gyakorlatilag kiszáradt. A növény szempontjából meghatározó időszakban jelentős csapadékhiány mutatkozott. Áprilisban még megfelelő volt a vízellátottság, majd száraz hónapok sorozata következett. A

nyáron lehullott 66 mm csapadék 115 mm-el maradt el az átlagostól, annak alig több mint egy harmada (36%-a) esett (1. táblázat).

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

Időszak (1)	Közép- hőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)	Napfény- tartam (óra) (4)
Téli félév (X-III) (5)	4,2 (0,0)	150 (-64)	891 (+217)
Nyári félév (IV-IX) (6)	18,9 (+1,4)	320 (-26)	1566 (+50)
Április (7)	9,6 (-1,6)	50 (-3)	177 (-37)
Május (8)	17,7 (+1,1)	39 (-25)	275 (+25)
Június (9)	22,7 (+3,4)	19 (-47)	358 (+89)
Július (10)	23,7 (+2,4)	38 (-28)	312 (+26)
Augusztus (11)	23,7 (+2,9)	9 (-40)	303 (+14)
Szeptember (12)	15,8 (-0,4)	165 (+116)	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 agricultural campus 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.

2022. április

Az április hűvös, átlagosan csapadékos és napfényben kissé szegény volt. A havi középhőmérséklet (9,6 °C) 1,6 °C-kal maradt el az átlagostól (1. táblázat). A hónapot változékony időjárás jellemezte. A napi középhőmérsékleti értékek a kukorica bázishőmérsékletét csak a hónap utolsó hetében haladták meg tartósabban, de még ekkor sem volt a szokásosnál melegebb időjárás (2. ábra). Mindhárom dekád negatív hőmérsékleti anomáliát mutatott (1. ábra). A legmagasabb hőmérséklet is mindössze 22,9 °C volt (24-én). A hónap középső időszakában öt napon volt kisebb fagy, 19-én -2,5 °C-ig csökkent a hőmérséklet. Az áprilisi 50 mm csapadék kedvező eloszlásban hullott. Az 1. és a 3. dekádot jellemezte a felhős időjárás, több alkalommal esővel, míg a hónap közepén nem volt csapadék.

1. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2022 tenyészidőszakában (Debrecen agrár kampusz)

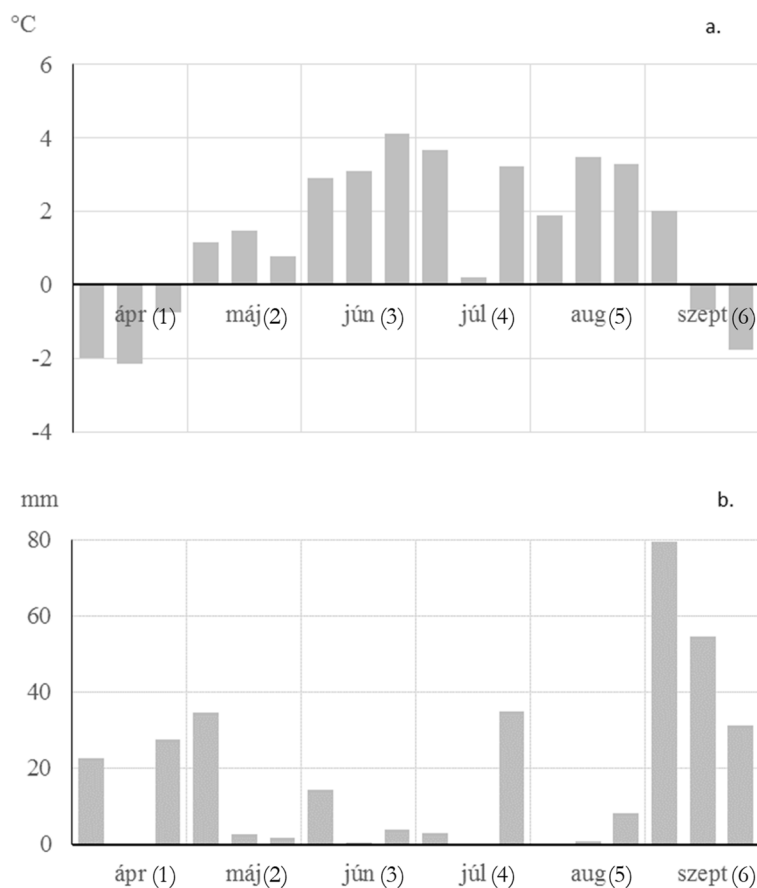


Figure 1. 10-day precipitation sums (b) and anomalies of the 10-day average air temperature values (a) in the growing season (Debrecen agricultural campus, 2022). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

2022. május

Az április végén elkezdődött felmelegedés folytatódott, a mérsékelt meleg időjárás tartósan bizonyult. A havi középhőmérséklet 17,1 °C-os értéke 1,1 °C-kal meghaladta a sokévi átlagot. A kiegyenlített hőmérsékleti viszonyok miatt

mindhárom dekádban közel azonosan alakult a pozitív anomália értéke (1. ábra).

A maximumhőmérsékletek jellemzően a 22–28 °C-os tartományba estek. Hőségnap nem volt, a legmelegebb napon 29,5 °C-ot ért el a hőmérséklet csúcserkéke. A minimumok az első héten még 5–10°C között, ezt követően 10–15 °C között alakultak. Csupán a május 18–20. és május 28–30. időszakokban volt átmenetileg hűvösebb, mind az éjszakai, mind a nappali órákban (3. ábra). A csapadék havi összege 39 mm, ami 25 mm-rel elmaradt a szokásos havi mennyiségtől. Lényegében a csapadék egésze (34 mm) két napon, május 7–8-án hullott le. Megjegyezzük, hogy csak lokálisan volt ekkora csapadék, átmenetileg jó vízellátottságot biztosítva a kukoricának. Ezt követően kezdődött a nyáron is folytatódó igen hosszú, száraz periódus.

2. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 áprilisában (Debrecen agrár kampusz)

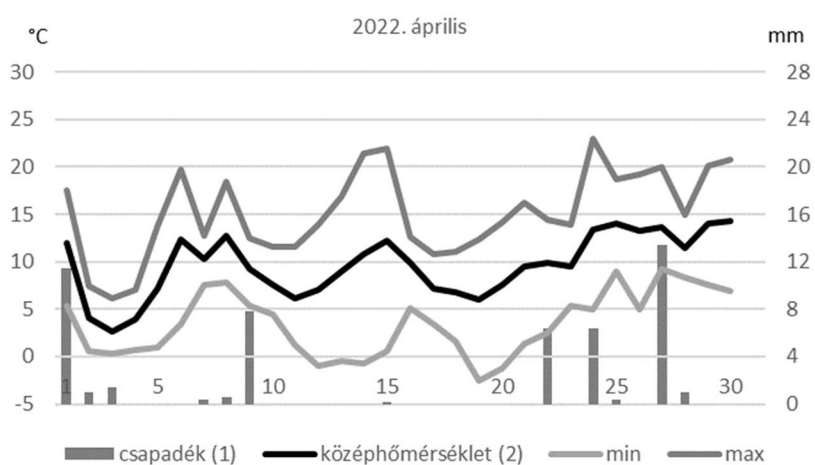


Figure 2. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in April 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

3. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 májusában (Debrecen agrár kampusz)

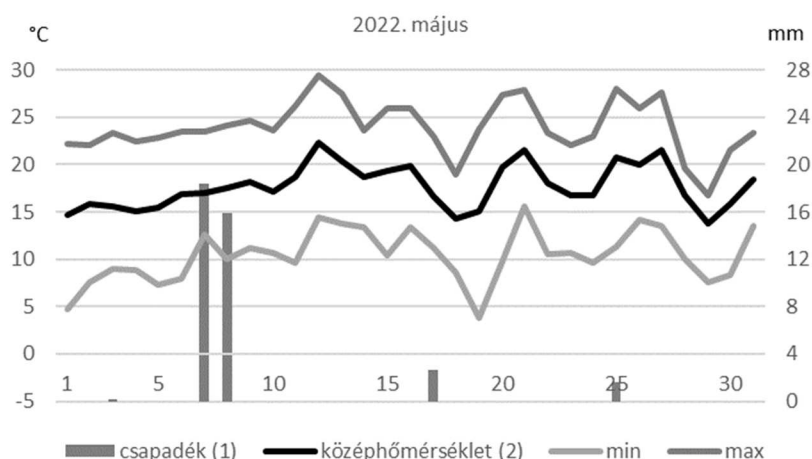


Figure 3. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in May 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

2022. június

A nyár első hónapjában az átlagosnál lényegesen melegebb, napsütésben gazdag, igen száraz időjárás uralkodott. A júniusi középhőmérséklet 22,7 °C (+3,4 °C anomália), ami Debrecenben a mérések kezdete óta a második legmagasabb érték. A napsütéses órák száma (358 óra) a szokásosnál lényegesen nagyobb volt. A havi csapadékösszeg 19 mm, ez csupán az átlagos érték 29%-a, annál 47 mm-rel kevesebb (1. táblázat). Mindössze egyszer esett jelentős napi csapadék (4-én 9 mm), de ez érdemben nem tudott hozzájárulni a kukorica vízellátásához. A hónap első felében a napi maximum hőmérsékletek a 25–30 °C-os tartományban voltak. Június 20-a környékén, illetve az utolsó héten már minden nap elérte a csúcshőmérséklet a 30 °C-ot. A hőségnapok (max≥30 °C) száma 11, és két alkalommal elérte a hőmérséklet a 35 °C-ot, 30-án a 36,9 °C-os értéket (4. ábra). A nagy meleg és a jelentős csapadékhiány hatására a hónap folyamán fokozatosan súlyos aszályhelyzet alakult ki. A vízhiány és részben a magas hőmérséklet által okozott stressz károsan hatott a növény asszimilációjára, az állományok magassági- és

levélfelület növekedésére. A kukorica már ebben a hónapban szemmel jól látható károsodást szenvedett.

4. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 júniusában (Debrecen agrár kampusz)

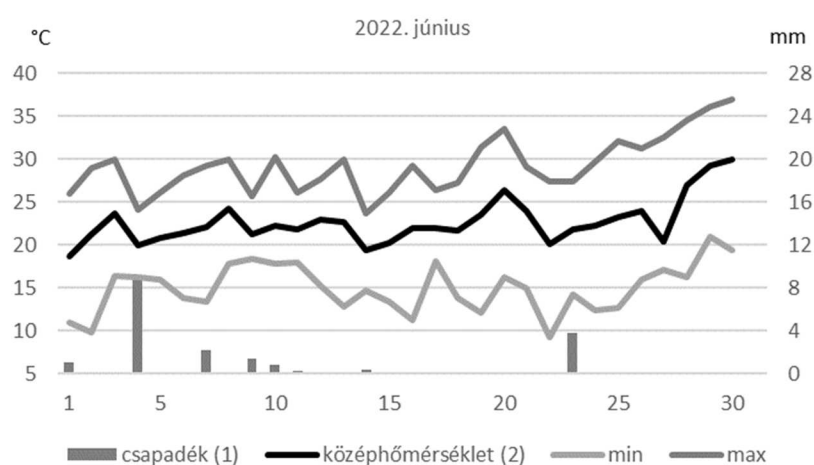


Figure 4. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in June 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

2022. július

Igen meleg időjárás jellemezte a júliust is, a 23,7 °C-os középhőmérséklet 2,4 °C-os pozitív anomáliát jelent. A hónap elején folytatódott a júniusban elkezdődött kánikulai időjárás, 35 °C körüli napi maximumokkal. Július 6–18-ig (néhány nap kivételével) a sokévi átlag közelébe mérséklődött a hőmérséklet, jellemzően 25–30 °C közötti maximumokkal. Ezt követően visszatért az igazi kánikula, a hőmérséklet csak a hónap utolsó napján esett vissza jelentősen. Július 23-án 38,5 °C-ig emelkedett a hőmérséklet, ez nemcsak a július, hanem az egész év legmagasabb értéke. A hónapban 18 hőségnap volt. A kevés felhő és a száraz levegő miatt nagy volt a napi hőingás. Még a legmelegebb napokon is többnyire 20 °C alatt alakult a napi minimum hőmérséklet. Az átmeneti hűvösebb periódusokban éjjelente 10–15 °C közé hűl le a levegő (5. ábra). A júliusi 312 órás napfénytartam lényegesen átlag feletti (1. táblázat). A

csapadék mennyisége (38 mm) elmaradt a szokásostól. Csaknem a teljes mennyiség a hónap végén hullott le záporok formájában. Ekkorra a kukorica súlyos irreverzibilis károsodást szenvedett. A száraz levegő és magas hőmérséklet együttesen a napok jelentős részében légköri aszályt okozott, ami tovább fokozta a talajaszály miatti vízhiány stresszt.

5. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 júliusában (Debrecen agrár kampusz)

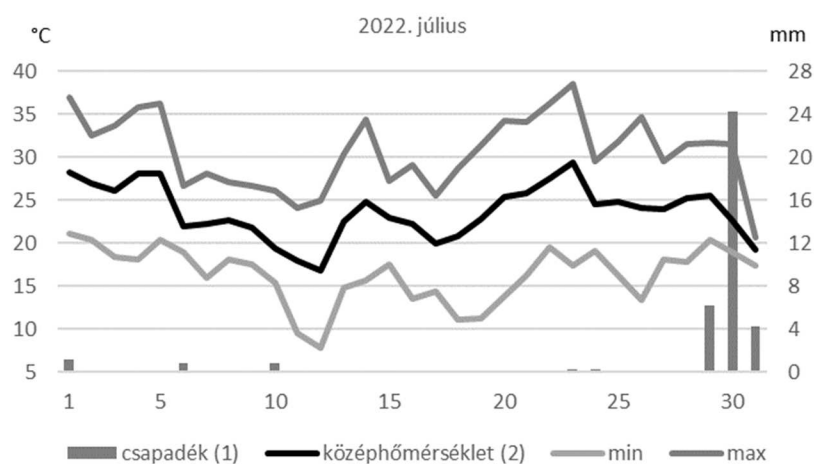


Figure 5. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in July 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

2022. augusztus

Az augusztus is igen meleg volt. A júliusival megegyező 23,7 °C-os középhőmérséklet 2,9 °C-os pozitív anomáliát jelent. A hőmérséklet menete nem mutatott jelentős kilengéseket. A napi minimumok 15–20 °C között, a maximumok 25–35 °C között változtak (6. ábra). Az abszolút maximum kerekítve érte el a 35 °C-ot (34,6 °C 28-án). A nyári napok száma 31, a hőségnapok száma 18. A napfénytartam a kevés felhő miatt a rövidülő nappalok ellenére is meghaladta a 300 órát. Rendkívül kevés csapadék hullott, összesen 9 mm (a sokévi átlag 49 mm), ez is több alkalommal kisebb részletben az augusztus 20. utáni időszakban.

6. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 augusztusában (Debrecen agrár kampusz)

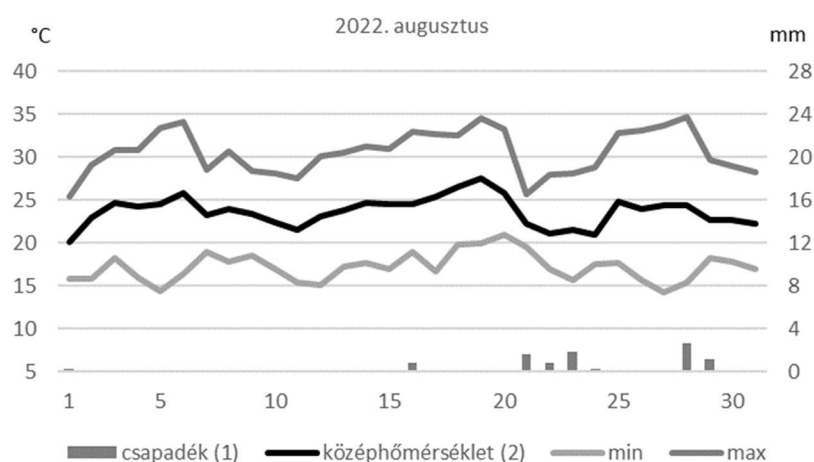


Figure 6. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in August 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

2022. szeptember

Szeptemberre jelentős fordulat következett be az időjárás jellegében. A havi középhőmérséklet (15,8 °C) kissé elmaradt a sokévi átlagtól és emellett rendkívül sok csapadék hullott. A 165 mm-es csapadékösszeg a legnagyobb szeptemberi érték a mérések kezdete óta. A szélsőséges szárazság már a hónap elején mérséklődött, később a talajok jelentős mélységig telítődtek. A hőmérsékleti maximumok a hónap első felében többnyire 20–26 °C, a második felében 15–20 °C között alakultak (7. ábra). A minimumokban is fokozatos csökkenés figyelhető meg. Fagy nem volt, a legalacsonyabb érték a 20-i 3,8 °C. A hónap időjárása az érés, illetve betakarítás szempontjából kedvezőtlenül alakult.

7. ábra. A minimum, maximum és középhőmérséklet, valamint a csapadék napi értékei 2022 szeptemberében (Debrecen agrár kampusz)

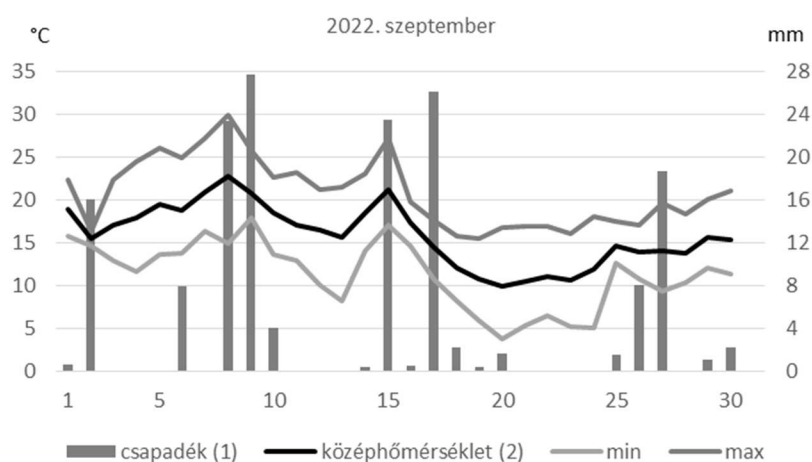


Figure 7. Daily values of precipitation, minimum, maximum and mean temperatures in September 2022, Debrecen agricultural campus. (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C)

Következtetések

A 2022-es aszály rendkívüliségében fontos tényező volt, hogy a megelőző téli időszakban a talajok mélyebb rétegei nem tudtak átnedvesedni. A téli félévben mindössze 150 mm csapadék hullott, egy igen aszályos tenyészidőszakot követően, így nagyon alacsony volt a talajok tavaszi induló vízkészlete. Az április még átlagosan csapadékos volt, ezt követően azonban igen jelentős csapadékhiány alakult ki. A három nyári hónapban összesen 66 mm csapadék esett, ami 115 mm-el elmaradt az átlagostól. A vízhiányt és annak káros hatásait fokozta, hogy a hőmérséklet a május-augusztus időszakban a szokásosnál lényegesen magasabban alakult. Különösen a nyári hónapok voltak a sokévi átlagnál sokkal melegebbek, rendre 3,4 °C, 2,4 °C, illetve 2,9 °C-os pozitív hőmérsékleti anomáliát mutattak.

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

- 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.
- Gombos B.–Nagy J.:* 2019. Az időjárás értékelése kukorica (*Zea mays* L.) tartamkísérletek eredményei alapján. *Növénytermelés*. 68. 2: 5–23.
- Gombos B.–Nagy J.:* 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. *Növénytermelés*. 71. 1: 7–20.
- 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.:* 2012. The effect of fertilization and precipitation on the yield of maize (*Zea mays* L.) in a long-term experiment. *Időjárás*. 116. 1: 39–52.
- Nielsen, D. C.–Halvorson, A. D.–Vigil, M. F.:* 2010. Critical precipitation period for dryland maize production. *Field Crops Research*. 118: 259–263.
- Nyéki, A.–Kerepesi, C.–Daróczy, B.–Benczúr, A.–Milics, G.–Nagy, J.–Harsányi, E.–Kovács, A. J.–Neményi, M.:* 2021. Application of spatio-temporal data in site-specific maize yield prediction with machine learning methods. *Precision Agriculture*. 22: 1397–1415.
- OMSZ.:* 2019. Magyarország hőmérsékleti viszonyai.
- Pálfai I.:* 2002. Magyarország aszályossági zónái. *Vízügyi Közlemények*. 84. 3: 323–357.
- Smith, W. C.–Betran, J.–Runge, E. C. A. (eds.):* 2004. *Corn. Origin, History, Technology, and Production*. Hoboken, NJ: John Wiley. 949.
- 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.-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.
- Westgate, M. E.-Boyer, J. S.:* 1986. Reproduction at low silk and pollen water potentials in maize. *Crop Science*. 26: 951-956.
- Wheeler, T. R.-Craufurd, P. Q.-Ellis, R. H.-Porter, J. R.-Vara Prasad, P.:* 2000. Temperature variability and the yield of annual crops. *agric. Ecosyst. Environ.* 82: 159-167.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

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

