

A kukorica (*Zea mays* L.) hibridek egyedi paramétereinek elemzése öntözéses tartamkísérletben

DOROGHÁZI OTTÓ

Debreceni Egyetem Kerpely Kálmán Doktori Iskola, Debrecen

Összefoglalás

A növénytermesztés fenntartható fejlesztése napjaink egyik legfontosabb agronómiai kihívása. A modern technológiák, például a precíziós gazdálkodás, köztük a tápanyag-gazdálkodási és öntözési stratégiák kulcsszerepet játszanak a terméshozam optimalizálásában és a fenntarthatóság biztosításában. A DE AKIT DTI Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepen beállított kísérletben intenzív termesztéstechnológia alkalmazása mellett vizsgáltuk négy eltérő érésidővel jellemezhető kukorica hibrid (FAO 350, 390, 410 és 550) fenometria (levélterület-index, fejlődésdinamika), fiziológiai (relatív klorofilltartalom, NDVI érték, vízleadási dinamika), valamint termésparamétereit (termésmennyiség, egyedi cső- és szemtömeg, egyedi szemszám, ezermagtömeg, fehérje-, olaj-, keményítő- és szemnedvesség-tartalom). A termésmennyiség értékelése alapján megállapítottuk, hogy a legmagasabb termést (20,95 t/ha) a középérésű, FAO 390 hibrid érte el, szignifikánsan meghaladva a többi vizsgált hibrid terméseredményét. Összességében megállapítottuk, hogy az egyes különböző érésidőjű kukorica hibridek között a vizsgált fenometria, fiziológiai és termésparaméterekben jelentős, számos esetben statisztikailag igazolható különbségek voltak, lehetővé téve az egyes hibridek főbb tulajdonságainak pontos elkülönítését.

Kulcsszavak: kukorica hibridek, paraméterek, öntözés, termés

Analysis of individual parameters of maize (*Zea mays* L.) hybrids in irrigated long-term field experiment

O. DOROGHÁZI

University of Debrecen, Kerpely Kálmán Doctoral School, Debrecen

Summary

The sustainable development of crop production is one of today's most important agronomic challenges. Modern technologies such as precision farming, including nutrient management and irrigation strategies, play a key role in optimising yields and ensuring sustainability. In an experiment set up at the DE AKIT DTTI Látókép Crop Production Experiment Site, we investigated the phenometric (leaf area index, development dynamics), physiological (relative chlorophyll content, NDVI value, water release dynamics) and yield parameters (yield, individual ear and kernel weight, individual kernel number, thousand kernel weight, protein, oil, starch and grain moisture content). Based on the evaluation of yield, it was found that the highest yield (20.95 t/ha) was obtained by the mid-ripening FAO 390 hybrid, significantly higher than the yield of the other examined hybrids. Altogether, it was found that there were significant, in many cases statistically significant, differences in the phenometric, physiological and yield parameters studied between maize hybrids of different maturity, allowing for a precise differentiation of the main traits of each hybrid.

Keywords: maize hybrids, parameters, irrigation, yield

Bevezetés

A kukorica globálisan az egyik legfontosabb mezőgazdasági termény, amely kulcsszerepet játszik az élelmiszer- és takarmányellátásban. Világszerte mintegy 190 millió hektáron termesztik. Az éves termelése meghaladja az 1140 millió tonnát (Nagy 2006). Felhasználása rendkívül sokrétű: az élelmiszeripar, takarmányozás, bioüzemanyag-előállítás. Ám a világ számos

régiójában a termés nagy része takarmányként hasznosul, különösen a húsiparban, ahol elengedhetetlen a magas tápértékű takarmány biztosítása (Shiferaw et al. 2011, Nyéki et al. 2020, Nagy 2021).

Magyarországon a kukorica az egyik legnagyobb vetésterülettel rendelkező szántóföldi növény. A vetésterület évente 1–1,3 millió hektár között mozgott (Eurostat 2020), azonban az éghajlatváltozás hatására ez a terület jelentősen csökkent. Az országos termés hozam 2019-ben 8 millió tonna volt, amelyet a termesztési technológiák folyamatos fejlődése tett lehetővé (Horváth et al. 2021a). Így vált Magyarország az EU második legnagyobb kukoricaexportőrévé – évi 3,7 millió tonnát meghaladó kivitelével –, míg az import aránya alacsony (Marton et al. 2020, UN Comtrade 2020). A kukorica árát a kereslet-kínálat dinamikája és a termelési költségek befolyásolják. Az inputköltségek közül a tápanyagellátás – különösen a nitrogén-utánpótlás – kiemelten fontos, amely közvetlen hatással van a hozamokra (Nagy 2007). Az elmúlt évek piaci trendjei azt mutatják, hogy a kukorica iránti kereslet folyamatosan növekszik, elsősorban az állati takarmányozás fokozódó igényei miatt (Marton et al. 2020). Ezt azonban az egyre jobban érzékelhető klímaváltozás nehézségei mellett kell kielégíteni. 2013–2022 között a globális hőmérséklet 1,15 °C-kal haladta meg az 1851–1900 közötti átlagot (Gombos et al. 2023, IPCC 2023). Magyarországon is hasonló folyamatok figyelhetők meg: a növekvő hőmérséklet és a csapadékcsökkenés egyre nagyobb kihívást jelent a gazdálkodók számára (Gombos és Nagy 2021).

Ezek a szélsőséges hőmérsékleti viszonyok jelentős hatással vannak a kukorica fejlődésére. Különösen a 35 °C feletti hőmérsékletek kritikusak a virágzás időszakában, mivel csökkentik a pollen életképességét, ami komoly termésvesztést okozhat (Gombos et al. 2023). Emellett a csapadék mennyiségének és eloszlásának változása (kevesebb, de intenzívebb esőzések formájában) tovább nehezíti a termesztési körülményeket (Gombos és Nagy 2024), továbbá a vízhiány és a csökkenő talajnedvesség gátolja a növény fejlődését, ami hosszú távon termésvesztést eredményezhet (Gombos et al. 2023).

Egyes kutatások szerint a hőmérséklet 1–4 °C-os emelkedése akár 5–14%-os terméskiesést okozhat, amely hosszútávon fenntarthatósági kérdéseket vet fel (Nielsen et al. 2010, Ocwa et al. 2023). Az új mezőgazdasági technológiák alkalmazása – mint a nitrapirin és a levéltrágyázás – elősegíthetik a

tápanyagok és a víz hatékonyabb hasznosulását, így csökkentve a stresszhatásokat és stabilizálva a terméshozamot (*Rácz et al. 2021, Ocwa et al. 2024ab, Ssemugenze et al. 2025*). A precíziós technológiák támogatják a termelőket a változó környezethez való alkalmazkodásban, valamint további segítséget nyújtanak a hatékonyabb termesztési stratégiák kidolgozásában (*Bojtor et al. 2021c, Cedric et al. 2022, Harsányi et al. 2023*).

Ebből kifolyólag a fenntartható kukoricatermesztés érdekében elengedhetetlen a növény fejlődését és hozamát befolyásoló tényezők részletes elemzése, különösen a hőösszeg (Growing Degree Days, GDD) hatásának vizsgálata a növény életciklusára. A GDD a növekedési periódus során felhalmozódó hőmennyiséget méri és meghatározó szerepet játszik a kukorica fejlődési szakaszaiban. A napi minimum és maximum hőmérsékletek, valamint a meghatározott bázishőmérséklet alapján számítják ki, amely kukorica esetében jellemzően 10 °C (*Sojóczki et al. 2023*).

A különböző érésidőjű hibridek eltérő hőösszeg-igénnyel rendelkeznek, ezért a megfelelő hibrid kiválasztása kulcsfontosságú a helyi klimatikus viszonyokhoz való alkalmazkodásban és a terméshozam optimalizálásában (*Shojaei et al. 2021, Shojaei et al. 2022*). A GDD értékek ismerete segít abban, hogy egy-egy hibrid a megfelelő helyre legyen vetve, a megfelelő időben és technológiával. Ezáltal biztosítva a gyors és homogén kelést, ami hozzájárul a sikeres terméskötéshez és a szemek optimális fejlődéséhez (*Horváth és Széles 2021*). Magyarországon a kukorica tenyészidőszakának elején (április-május) nem ritkán előfordulnak olyan időszakok, amikor a hőmérséklet a bázishőmérséklet (8-10 °C) közelében vagy az alatt marad. Ekkor a kukorica nem vagy csak igen lassan fejlődik (*Gombos és Nagy 2022*) és komoly termés kiesést is okozhat (*Net1*). A Dekalb kukorica nemesítés többek között abba az irányba is halad, hogy a hibridek jól bírják a kezdeti növekedési fázisaikban a rövid ideig tartó hideget. Ez különösen fontos ott, ahol korán kell vetni a kukoricát, vagy pedig hidegebb, lassan felmelegedő talajba kerül a mag (*Net2*).

Mégis az elmúlt évtizedekben tapasztalt hőmérsékletemelkedés és csapadékhiány következtében a hőösszeg folyamatos növekedése kedvezőtlen hatást gyakorol a kukoricatermesztésre. A rövidülő tenyészidő és a fokozódó szárazság együttesen növeli a növények stresszérzékenységét, ami jelentős hozamcsökkenést és gyengébb termésminőséget eredményezhet (*Gombos*

et al. 2023). Ezért fontos a genetikai előrehaladás a nemesítés során, mert egy hibrid a környezeti körülmények változásának hatására ma kevesebbet terem, mint 5–6 évvel korábban, amikor bevezetésre került (*Net3*, *Net4*). A magas hőmérséklet a virágzás időszakában csökkenti a kukoricapollen életképességét, ami termés kieséshez vezethet (*Wheeler et al.* 2000). Az utóbbi években ebből az okokból kifolyólag egyre több hibridet nemesítenek korai virágzással az éréscsoportjukat tekintve (*Net5*). 2022-ben a csapadékmentes nyári időjárás és a talajok rendkívül alacsony induló vízkészlete súlyos aszályt idézett elő. A Debreceni Egyetem Látóképi Növénytermesztési Kísérleti Telepén a tartamkísérletek eredményei alapján az öntözés nélküli parcellákon a terméshozam mindössze 1,5–3,5 t/ha között alakult (*Gombos és Nagy* 2023).

A kukorica növekedése és terméshozama nemcsak az éghajlati tényezőktől, hanem a növény morfológiai és fiziológiai tulajdonságaitól is nagymértékben függ. A növény magassága, a levélszám és a levélfelületi-index (Leaf Area Index, LAI) közvetlen hatással vannak a fotoszintézis intenzitására és a fény hasznosításának hatékonyságára, amely befolyásolja a növény hozamát (*Szabó et al.* 2022). A vegetációs időszak során az LAI dinamikusán változik, és nagymértékben függ a hőmérséklettől és a csapadékmennyiségtől (*Gombos és Nagy* 2022).

A kukorica morfológiai jellemzői mellett a fiziológiai jellemzői szintén fontos szerepet játszanak a terméshozam meghatározásában. A klorofilltartalom (SPAD érték) és a vegetációs aktivitás (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) megbízható mutatók a növény fejlődésére és termőképességére. A SPAD érték a növény fenológiai állapotának megfelelően változik, magasabb értékei fokozott biomassza-felhalmozásra és aktív fotoszintézisre utalnak (*Zagyi et al.* 2024), az NDVI pedig a növény zöldtömegét és a fotoszintézis intenzitását méri, amely szoros összefüggést mutat a hozammal (*Nagy et al.* 2020). Ezek az értékek eltérő környezeti körülmények közt hibridenként változók. Ezért elengedhetetlen a hibridenkénti növényfiziológiai állapot precíz nyomon követése. A LAI, SPAD és NDVI mutatók együttesen lehetővé teszik a kukorica stressztűrésének és növekedési potenciáljának pontosabb meghatározását. Ezen paraméterek együttes elemzése lehetőséget biztosít a kukorica növekedési potenciáljának pontos meghatározására, támogatva a termesztési hatékonyság növelését, új termesztési stratégiák kialakítását, és a

változó környezeti kihívásokhoz való alkalmazkodást (*Illés et al.* 2021b, *Szabó et al.* 2022).

A kukorica takarmány célú, élelmiszeripari és biogáz felhasználása miatt – a hozama mellett – a szemek beltartalmi paraméterei is kiemelkedő jelentőségűek. A fehérje-, keményítő- és olajtartalom nagymértékben függ a termesztési körülményektől, különösen a hőösszeg (GDD) alaklásától. Magasabb GDD esetén a növény fejlődése és tápanyagfelvétele intenzívebbé válik, ami kedvezően hathat a fehérjetartalomra (*Ritchie et al.* 1994, *Széles et al.* 2022). *Horváth et al.* (2021b) kísérletei szerint a kukoricaszem fehérjetartalma 6,2–10,2 g/100 g között változott a nitrogéntrágyázás és az évjárat hatások függvényében, míg a keményítőtartalom 70,7–77,9 g/100 g között mozgott, a legkedvezőbb értékeket megfelelő időjárási körülmények mellett elérve. Az olajtartalom 3,8–5,2 g/100 g között alakult, azonban a trágyázás hatása erre a paraméterre statisztikailag nem volt szignifikáns.

A klimatikus tényezők – mint a hőmérséklet, csapadék és napfény – közvetlenül befolyásolják a szemek beltartalmi paramétereit. A magas hőmérséklet és az egyenetlen csapadékeloszlás hatással van a tápanyagfelvételre és a növény fejlődésére, ami végső soron meghatározza a termés minőségét és mennyiségét. A megfelelő műtrágyázási és vízgazdálkodási stratégiák kulcsszerepet játszanak a szemek fehérje-, keményítő- és olajtartalmának optimalizálásában. Az optimális NPK arányok alkalmazása és a precíziós mezőgazdasági technológiák integrálása hozzájárulhat a stabil és gazdaságilag jövedelmező termesztéshez (*Mousavi et al.* 2018, 2019).

A szemkitelítődés időtartama és sebessége döntő fontosságú a termés minősége szempontjából. A magas hőmérséklet gyorsíthatja ezt a folyamatot, de csökkentheti a szemtömeget és a keményítőtartalmat (*Lu et al.* 2013, *Zhang et al.* 2019). Ezért a megfelelő egyensúly megtalálása a gyors és hosszú szemkitelítődés között alapvető a hatékony, klímaváltozáshoz alkalmazkodó termesztésben (*Illés et al.* 2021a).

A növény morfológiai tulajdonságai, mint például a levélterület-index (LAI), kevésbé mutatnak közvetlen összefüggést a szemek keményítő-, fehérje- és olajtartalmával, mivel ezek elsősorban a növény nitrogéntartalmától és genetikai adottságaitól függenek (*Szabó* 2022).

A különböző kukorica hibridek eltérő minőségi jellemzőkkel rendelkeznek, ezért a megfelelő hibrid kiválasztása alapvető a kívánt termékminőség

eléréséhez. A kutatások szerint a különböző FAO-csoportba tartozó hibridek jelentősen eltérhetnek fehérje-, keményítő- és olajtartalmukban, ami közvetlenül befolyásolja a végtermék felhasználhatóságát (Bojtor *et al.* 2021a). Ennek megfelelően a hibridválasztás stratégiai döntés, amelyet az adott környezeti feltételek és termelési célok figyelembevételével kell meghozni (Pepó 2017, Illés *et al.* 2020).

A stressztűrő hibridek és a megfelelő tápanyagellátás, különösen a nitrogénpótlás, javíthatják a szárazanyag-felhalmozást és a termés minőségét (Bojtor *et al.* 2021b, Bojtor *et al.* 2022, Széles *et al.* 2019, Horváth *et al.* 2021a). Ezért a termesztési technológiák optimalizálása és az időjárási szélsőségekhez való alkalmazkodás elengedhetetlen a fenntartható és gazdaságos kukoricatermesztés szempontjából.

A kukorica termesztésének jövőjét egyre inkább meghatározzák az új stratégiák és a fenntartható gazdálkodás iránti igény. Ennek a kutatásnak a célja, hogy feltárja a különböző kukorica hibridek alkalmazkodóképességét és stressztűrését, valamint elemezze a termesztéstechnológia hatását a hozamokra és a beltartalmi értékekre. A klímaváltozás miatt fokozódó hőstressz, aszály és időjárási szélsőségek egyre nagyobb kihívást jelentenek a termesztésben, ezért elengedhetetlen a hibridek teljesítményének vizsgálata.

A kutatás során olyan agronómiai mutatók elemzése történt, mint a hőösszeg (GDD), levélterület-index (LAI), klorofilltartalom (SPAD) és a vegetáció állapota (NDVI), amelyek segítenek a növények fejlődésének és minőségi paramétereinek pontosabb megértésében. Az eredmények hozzájárulhatnak a fenntarthatóbb és gazdaságosabb kukoricatermesztéshez, valamint a precíziós mezőgazdasági technológiák fejlesztéséhez.

Anyag és módszer

A kísérletben értékelt kukorica hibridek paramétereit

- FAO 350: Termetét tekintve középmagas hibrid, átlagos növénymagassága 293,2 cm. A cső 131,1 cm-es magasságban ered a szárról. Jó gyökér- és szártulajdonságokkal rendelkezik, szárátmérője átlagosan 24,5 mm. Agronómiai tulajdonságai kedvezőek, kelési erélye, korai fejlődése és szárszilárdsága is jó. Biológiai érettségét augusztus 27-én érte el.
- FAO 390: A FAO 300-as csoport végén érik. Fenotípusát tekintve kompakt hibrid, stabil felépítésű: átlagos növénymagassága 314,6 cm. A cső 139 cm-es

magasságban ered a szárról. Jó csöveket fejleszt, ezermag tömege 429,12 g volt. Jó gyökér- és szártulajdonságokkal rendelkezik, szárátmérője átlagosan 24 mm. Agronómiai tulajdonságai kedvezőek, kelési erélye, korai fejlődése és szárszilárdsága is jó. Biológiai érettségét augusztus 30-án érte el.

- FAO 410: A FAO 400-as csoport elején érik. Fenotípusát tekintve közép magas hibrid, átlagos növénymagassága 302,3 cm. A cső 134,6 cm-es magasságban ered a szárról. Szép csöveket fejleszt, ezermag tömege 444,99 g volt. Jó gyökér- és szártulajdonságokkal rendelkezik, szárátmérője átlagosan 25,09 mm. Agronómiai tulajdonságai kedvezőek, kelési erélye, korai fejlődése és szárszilárdsága is jó. Biológiai érettségét augusztus 30-án érte el.
- FAO 550: A FAO 500-as csoport közepén érik. Kompakt, stabil felépítésű hibrid, átlagos növénymagassága 310,7 cm. A cső 129,7 cm-es magasságban ered a szárról. Tetszetős csöveket fejleszt, ezermag tömege 452,26 g volt. Jó gyökér- és szártulajdonságokkal rendelkezik, szárátmérője átlagosan 26,3 mm. Agronómiai tulajdonságai kedvezőek, kelési erélye, korai fejlődése és szárszilárdsága is jó. Biológiai érettségét szeptember 3-án érte el.

Meteorológiai viszonyok és hatásuk

A kukorica termesztése szempontjából kedvező, ha a tenyészidőszak előtti téli félévben a talajok mélyebb rétegei feltöltődnek vízzel. Ellenkező esetben (mint pl. 2022-ben) jelentősen megnő az aszály kockázata. A 2023/24-es téli félévben hat hónap alatt az átlagosat lényegesen meghaladó, 283 mm csapadék hullott. Ezen időszak megítélését kissé árnyalja, hogy a csapadék nagy része még december vége előtt lehullott, azt követően alapvetően száraz, enyhe időjárás uralkodott. Extrém enyhe volt a február, a mérések kezdete óta messze a legmagasabb középhőmérséklettel. A téli félév átlaga is +2,3 °C-os anomáliát mutatott (*1. táblázat*). A talajok felső rétegének kiszáradása már februárban elkezdődött. A tavaszi talajmunkák elvégzését nem akadályozta az időjárás.

Április közepéig még igen enyhe időjárás uralkodott, aztán az átlagos közelébe esett vissza a hőmérséklet (*1. ábra*). A korábbi néhány évtől eltérően az áprilisi középhőmérséklet meghaladta (+2,4 °C) a szokásosat. Összesen 38 mm eső esett, ami a megfelelő eloszlása révén biztosította az elvetett kukorica kelését. A május meleg, száraz idővel indult, majd elsősorban a hónap utolsó dekádjában már jelentős mennyiségű csapadék

hullott. Ez a hónap az átlagosnál kissé melegebb (17,5 °C) és csapadékosabb (76 mm) lett, azaz kedvezően alakult az időjárás a kukorica kezdeti fejlődési időszakában.

1. táblázat. *A hőmérséklet, a csapadék (Debrecen-Látókép) és a napfénytartam (Debrecen, OMSZ) havi és féléves jellemzői 2024-ben*

| Időszak (1) | Középhőmérséklet (°C) (2) | Csapadék (mm) (3) | Napfénytartam (óra) (4) |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Téli félév (X-III.) (5) | 6,5 (+2,3) | 283 (+69) | 686 (+29) |
| Nyári félév (IV-IX.) (6) | 19,9 (+2,4) | 312 (-34) | 1602 (+128) |
| Április (7) | 13,6 (+2,4) | 38 (-15) | 233 (+25) |
| Május (8) | 17,5 (+0,9) | 76 (+12) | 266 (+25) |
| Június (9) | 21,2 (+1,9) | 66 (0) | 258 (-4) |
| Július (10) | 24,2 (+2,9) | 29 (-37) | 330 (+51) |
| Augusztus (11) | 24,2 (+3,4) | 33 (-16) | 321 (+39) |
| Szeptember (12) | 18,4 (+2,2) | 70 (+22) | 194 (-8) |

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, HMS) in 2024. (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 napi talajhőmérsékleti középérték szokatlan módon már április első felében tartósan elérte a 20 °C körüli értéket (a kukorica magágyában, 5 cm mélységben), még az április közepén kezdődött tartósabb lehűlés után is végig a kukorica bázishőmérséklete (10 °C) felett maradt, jellemzően 11–15 °C között (*1. ábra*). Április végétől 20 °C felé melegedett a talaj, melyben már gyors a kelési folyamat. A levegő hőmérséklete minden nap a talajhőmérséklet alatt maradt, egyértelmű a talaj hőmérsékleti többlete ebben az időszakban.

1. ábra. A talajhőmérséklet (5 cm, szántásos alapművelés) és a léghőmérséklet (2 m) menete (Debrecen-Látókép, 2024. április 10.–2024. május 22.)

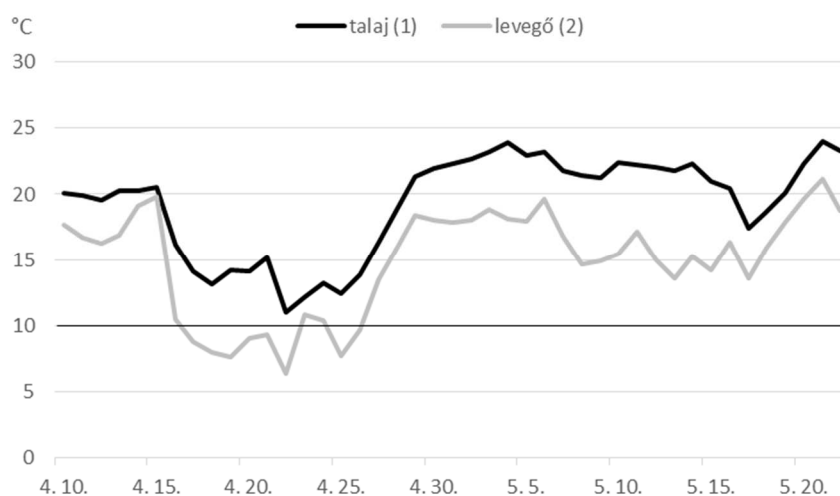


Figure 1. Daily average of soil temperature (at 5 cm depth), air temperature (2 m) and the difference of them (Debrecen-Látókép, 10 April to 22 May, 2024). (1) Soil, (2) Air

A meleg júniusi időjárás (21,9 °C) kedvezett a kukoricának, mivel nem alakult ki szélsőséges hőség, továbbá az átlagnak megfelelő mennyiségű csapadék (66 mm) még jó vízellátottságot biztosított a talaj mélyebb rétegeiben lévő talajnedvességgel együtt (2. ábra).

A folytatásban fokozódott a meleg. Mind a júliusi, mind az augusztusi középhőmérséklet rekord közelében alakult (24,2 °C). A kánikula egyik csúcspontja július közepén volt, ami több helyen egybeesett a kukorica hőstresszre legérzékenyebb, virágzás-terméskötés fenofázisával. Augusztusi rendkívüli meleg (a hónap közepe, vége) az érési fázis lerövidülését okozta. A napsütéses órák száma is kifejezetten magas volt a nyár utolsó két hónapjában, általában kevés felhő jellemezte az időjárást. A júliusi csapadék (29 mm) nem érte el a sokévi átlag felét, az augusztus is száraz volt (33 mm). Nyári teljes csapadékösszeg 128 mm, aminél lényegesen kisebb értékek is előfordultak az utóbbi években is (pl. 2021: 72 mm, 2022: 56 mm).

2. ábra. A dekád középhőmérsékletek eltérése a sokévi átlagtól (a) és a csapadékösszegek (b) 2024 tenyészidőszakában (Debrecen-Látókép, 2024)

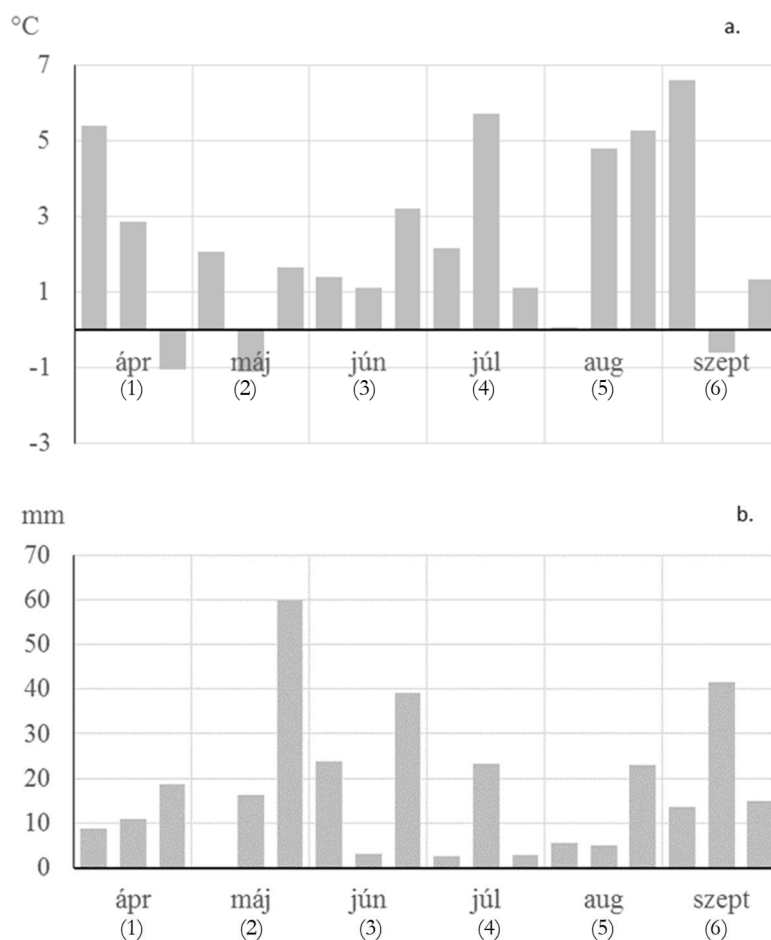


Figure 2. 10-day precipitation sums (b) and anomalies of the 10-day average air temperature values (a) in the growing season (Debrecen-Látókép, 2024). (1) April, (2) May, (3) June, (4) July, (5) August, (6) September

A 2024-es tenyészév termésdepressziójáért elsősorban a nyári tartós, szélsőségesen meleg időjárás volt a felelős. Az átlagosnál kevesebb csapadékkal párosulva jelentős talajszárazság alakult ki. Valószínűsíthető, hogy a

légköri aszály, illetve a magas léghőmérséklet károsító hatása is jelentős szerepet játszott a termés csökkenésben. Igen magas (51) volt a hőség napok ($\max \geq 30$ °C) száma a nyári időszakban.

Szeptember elején folytatódott az évszakhoz képest rendkívül meleg idő, az első dekád közel 7 °C-os pozitív anomáliát mutatott. A hónap közepén megérkezett a lehűlés, jelentős mennyiségű csapadékkal. A hónap hátralévő részében sem tért már vissza a száraz, meleg idő. A kukorica fiziológiai érettsége és gyors vízleadása, száradása lehetővé tette a korai betakarítást. A hónap közepén viszont az esős időjárás átmenetileg tartósabban is akadályozta az aratási munkákat.

A tartamkísérlet agrotechnikai jellemzői

A „Potenciál” termőképesség kísérlet főbb termesztéstechnológiai jellemzői az alábbiak voltak.

Előveteménye kukorica volt, amelynek betakarítása 2023. 09. 28-án történt. Ezt követően őszi tápanyag-utánpótlás (12 kg/ha N, 72 kg/ha P_2O_5 és 72 kg/ha K_2O), valamint forgatásos alapművelés következett 2023. 10. 11-én. Tavasz tápanyag-kijuttatás során 2024. 04. 09-én 135 kg/ha N, 35 kg/ha CaO és 25 kg/ha MgO került kijuttatásra.

A vetés 2024. 04. 11-én történt, amelyet a vetést követő alacsony hőmérsékleti viszonyok miatt elhúzódo, 2024. 04. 11-től 2024. 05. 03-ig tartó kelés követett. Sorközművelés 2024. 05. 13-án következett, amelyet követően a precíziós csepegtető öntözőberendezés telepítésre került a kísérleti területre. A csepegtető öntözéssel a tenyészidőszak során 14 alkalommal, 2024. 06. 17.-2024. 08. 13-ig összesen 254,86 mm öntözővizet juttatunk ki a területre, pótlólagos vízellátó folyékony műtrágya hozzáadásával, NPK 3-5-40 készítménnyel (8 kg/ha N, 13 kg/ha P_2O_5 , 107 kg/ha K_2O).

A kísérlet során mértük a relatív klorofilltartalmat (SPAD 502 Plus), az NDVI értéket (Greenseeker Kézi NDVI mérő), valamint a levélterület-indexet (Delta T SunScan SS1) a kukorica kritikus fenológiai fázisaiban. A betakarítást megelőzően a szentelítődés kezdetétől vízleadás-dinamika értékelést végeztünk, valamint meghatározásra kerültek az egyedi csőparaméterek (szemszám, szemtömeg, csőtömeg, ezermagtömeg).

A kísérlet betakarítása 2024. 09. 26-án volt parcella betakarító kombájnnal. A betakarítást követően a termésminták minőségi jellemzőinek megállapítását Perten DA 7250 NIR beltartalom-vizsgáló eszközzel végeztük.

Statisztikai értékelés

Az egyes mért adatok közötti statisztikailag igazolható különbségek megállapításához egy- és többtényezős varianciaanalízist (ANOVA), valamint Fisher-féle LSD tesztet alkalmaztunk. A statisztikai elemzések Minitab 19 szoftverrel, az ábrák pedig Microsoft Excel 365 szoftverrel készültek.

Eredmények

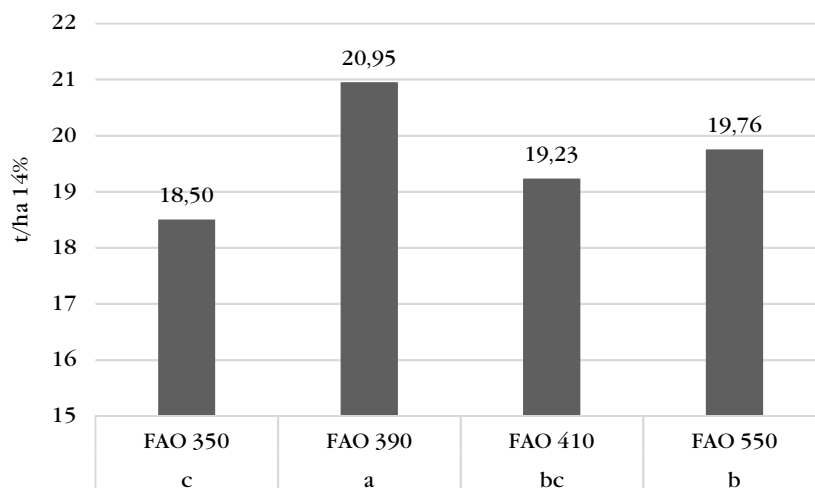
Az egyes kukorica hibridek összehasonlítását és az eredmények komplex értékelését a négy eltérő érésidejű kukorica hibrid fejlődése során a kritikus fenofázisokban mért egyedi fenometriai és fiziológiai paraméterei, valamint a termés jellemző mennyiségi és minőségi jellemzői mentén végeztük, az alábbiak szerint.

Termésparaméterek

A termésmennyiség értékelése alapján megállapítottuk, hogy a legmagasabb termést (20,95 t/ha) a középérésű FAO 390 hibrid érte el, szignifikánsan meghaladva a többi vizsgált hibrid terméseredményét. A legrövidebb tenészsídejű FAO 350 kukorica hibrid ezzel szemben statisztikailag igazoltan a legalacsonyabb, 18,5 t/ha terméseredményt ért el. A hosszabb tenészsídejű hibridek termésmennyisége egymástól statisztikailag nem különbözött (3. *ábra*).

A különböző FAO számú kukorica hibridek egyedi szemtömegnek értékelése alapján megállapítottuk, hogy az egyes hibridek szemtömege szignifikánsan nem különbözött egymástól. A legnagyobb szemtömeget a FAO 410-es hibrid eredményezte (221,55 g), míg a legkisebbet a FAO 390-es hibrid (194,99 g) (4. *ábra*).

3. ábra. *Eltérő kukorica hibridek termésmennyisége*
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

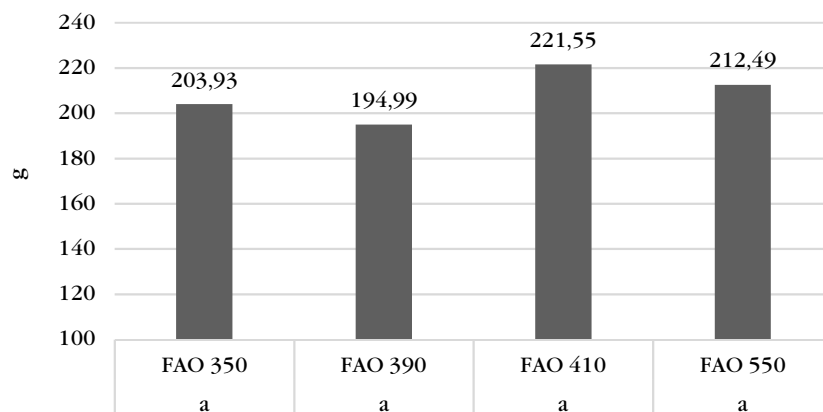
Figure 3. Yields of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). Note: values with different letters are statistically different from each other.

A kísérlet értékelés során megállapítottuk, hogy a FAO 410 hibrid érte el a legmagasabb egyedi szemszámot (498,6 db), amely 5,9–9,1%-kal volt magasabb a többi vizsgált hibrid értékeinél (5. ábra).

Az egyedi csőtömeg értékelése alapján megállapítható, hogy a legmagasabb értékeket a két kései érésidejű, FAO 410 és FAO 550 kukorica hibrid érte el (244,78–247,64 g/cső) értékekkel, azonban az egyes hibridek között nem volt statisztikailag igazolható különbség (6. ábra).

Az ezermagtömeg értékelésében a szemszám és a szemtömeg jellemzőihez hasonló eredményeket mértünk, amely szerint a legmagasabb ezermagtömeggel a kései FAO 550 érésidejű kukorica hibrid rendelkezett (7. ábra).

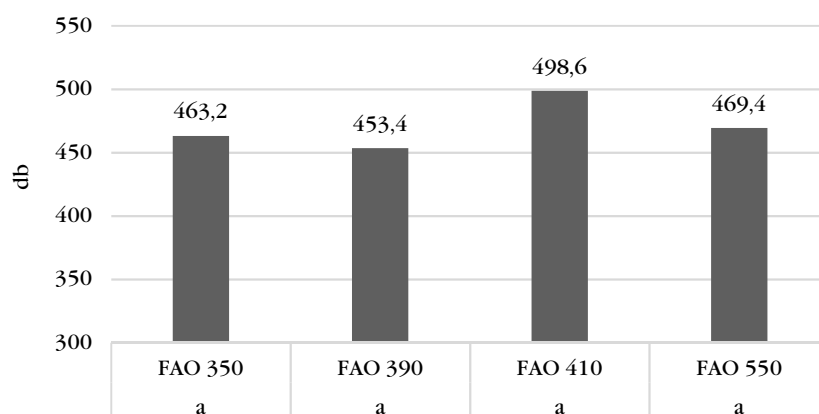
4. ábra. *Eltérő kukorica hibridek egyedi szemtömege*
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 4. Individual grain weights of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). Note: values with different letters are statistically different from each other.

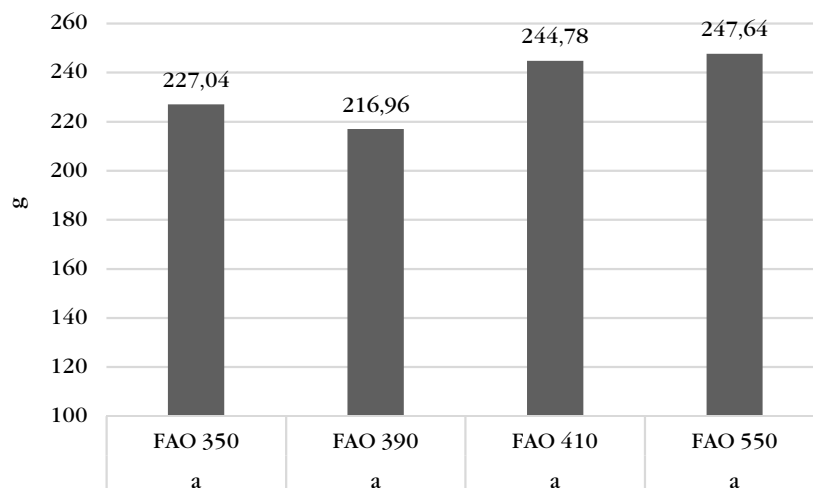
5. ábra. *Eltérő kukorica hibridek egyedi szemszáma*
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 5. Individual number of grains of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). Note: values with different letters are statistically different from each other.

6. ábra. *Eltérő kukorica hibridek egyedi csőtömege*
(Debrecen-Látókép, 2024)

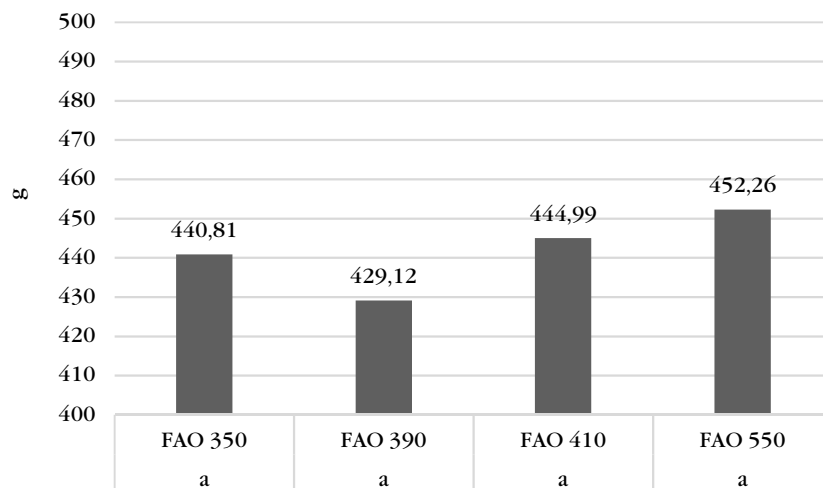


Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 6. Individual ear weights of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). Note: values with different letters are statistically different from each other.

A kísérlet során mértük a kukorica szemtermésének minőségi jellemzőit a fehérje-, olaj-, keményítő- és szemnedvesség-tartalom meghatározásával. Az egyes beltartalmi paraméterek között jelentős, statisztikailag igazolható különbségeket mértünk. A fehérjetartalomban a FAO 410 hibrid, az olajtartalomban a FAO 390 hibrid, a keményítőtartalomban pedig a FAO 350 hibrid érte el a legmagasabb értékeket, szignifikánsan meghaladva a többi vizsgált hibrid adatait. Szemnedvességben a mért adatok és az érésidő között nem volt kapcsolat, egyaránt magas szemnedvességet mértünk a FAO 350 és a FAO 550 kukorica hibrid termésében (2. táblázat).

7. ábra. *Eltérő kukorica hibridek ezermagtömege*
(Debrecen-Látókép, 2024)



Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Figure 7. Thousand kernel weight of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). Note: values with different letters are statistically different from each other.

2. táblázat. *Eltérő kukorica hibridek termésminőséget jellemző paramétereit*
(Debrecen-Látókép, 2024)

| Hibridek (1) | Fehérje (%) (2) | Olaj (%) (3) | Keményítő (%) (4) | Nedvesség (%) (5) |
|-----------------|--------------------|-------------------|----------------------|----------------------|
| FAO 350 | 6,29 ^c | 3,20 ^c | 64,40 ^a | 13,70 ^a |
| FAO 390 | 6,55 ^b | 3,70 ^a | 63,10 ^b | 13,16 ^b |
| FAO 410 | 6,85 ^a | 3,30 ^c | 62,95 ^b | 13,15 ^b |
| FAO 550 | 6,42 ^b | 3,51 ^b | 62,65 ^b | 13,69 ^a |

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek egymástól statisztikailag különböznek.

Table 2. Yield quality parameters of different maize hybrids (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Hybrids, (2) Protein (%), (3) Oil (%), (4) Starch (%), (5) Moisture (%), Note: values with different letters are statistically different from each other.

Fenometriai paraméterek

A hőösszeg egy fontos mutatója a növényfejlődésnek, amely megmutatja, hogy a növény mennyi hőenergiát használ fel a különböző fejlődési szakaszokban. A kutatások alapján a növény életciklusa első felében gyorsabban reagál a hőmérséklet-emelkedésre, a generatív fejlődési stádiumban több akkumulált hőösszeg szükséges az érési folyamat befejezéséhez. Az időjárási tényezők, különösen a hőmérséklet, kulcsszerepet játszanak a kukoricatermesztésben, és ezek figyelembevétele segíthet az optimális vetési idő meghatározásában.

A FAO 350 éréscsoportba tartozó kukorica hibrid fejlődési dinamikáját elemezve megállapítható, hogy a keléstől számítva 507 °C hőösszeget akkumulált a hímvirágzás fenofázisig, majd azt követően 811 °C hőösszeget igényelt a fiziológiai éréshez (8. ábra).

8. ábra. FAO 350 kukorica hibrid fejlődési dinamikája
(Debrecen-Látókép, 2024)

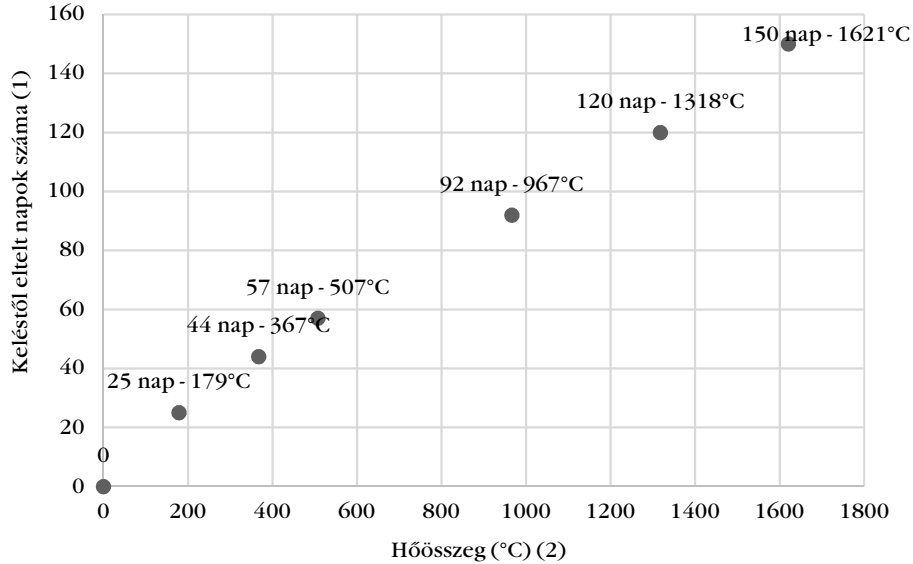


Figure 8. FAO 350 maize hybrid development dynamics (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Number of days since sowing, (2) Heat sum (°C)

A FAO 390 tenyészidejű kukorica hibrid adatainak értékelése során megfigyeltük, hogy a hímvirágzásig 60 nap és 538 °C akkumulált hőösszegre volt szüksége, amelyet további 64 nap összesen 829 °C hőösszege egészített ki a fiziológiai éréshez szükséges energia biztosításához (9. ábra).

9. ábra. FAO 390 kukorica hibrid fejlődési dinamikája
(Debrecen-Látókép, 2024)

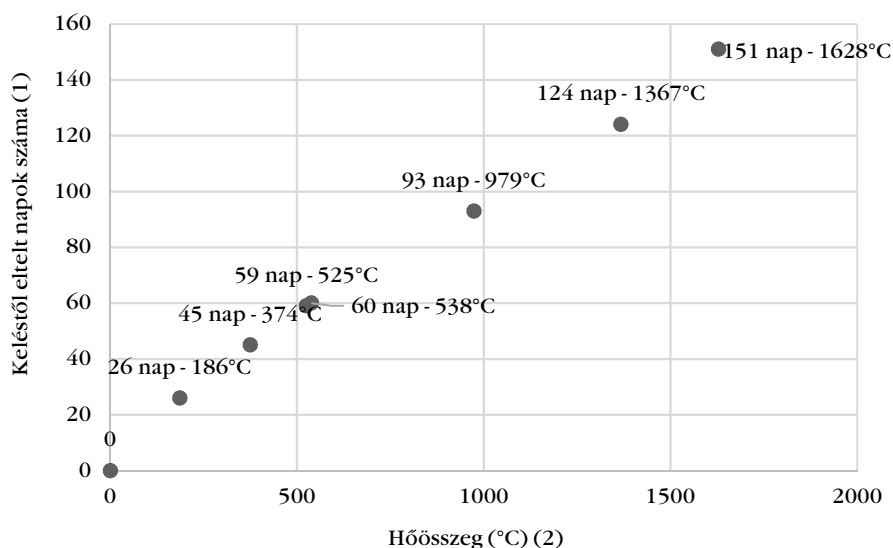


Figure 9. FAO 390 maize hybrid development dynamics (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Number of days since sowing, (2) Heat sum (°C)

A FAO 410 kukorica hibrid érdemben nem különbözött a FAO 390 hibrid érési dinamikájától. A hímvirágzásig 58 nap és 518 °C akkumulált hőösszegre volt szüksége, amelyet kiegészített a fiziológiai érésig további 842 °C hőösszeg értékkel (10. ábra).

A FAO 550 hibrid a hosszabb érésidőjét a kutatásban visszaigazolta. A hímvirágzás fenofázishoz 558 °C hőösszeget akkumulált, amelyet további 857 °C hőösszeg követett a fiziológiai érésig. A vizsgált hibrid értékei a vegetatív és a generatív fázisban is meghaladták a többi, rövidebb tenyészidővel jellemezhető kukorica hibrid főbb fenofázisokban akkumulált hőösszegeit (11. ábra).

10. ábra. FAO 410 kukorica hibrid fejlődési dinamikája
(Debrecen-Látókép, 2024)

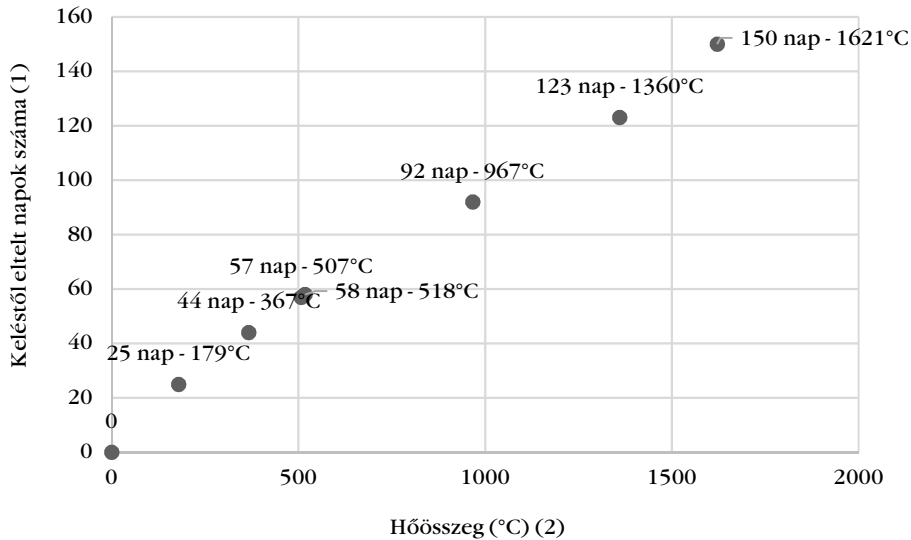


Figure 10. FAO 410 kukorica hibrid fejlődési dinamikája (Debrecen-Látókép, 2024). Number of days since sowing, (2) Heat sum (°C)

Levélterület-index

A kukorica levélterület-indexe kifejezi az egyes növények asszimilációs felületének a nagyságát, amely biztosítja a növényi szárazanyag-beépülést. A levélterület-index értékeit a kukorica főbb, kritikus vegetatív és generatív fejlődési stádiumaiban vizsgáltuk.

A különböző fenofázisok közül a legnagyobb levélterület-index értéket a FAO 350 hibrid érte el a 07. 30-i mérési időpontban (6,13). Az egyes genotípusok között minden mérési időpontban statisztikailag igazolt különbségeket mértünk, amely az egyes genotípusok vegetatív-generatív jellegét jól elkülöníti. A FAO 550 hosszú tenyészidejű hibridnél a generatív mérési időpontokban (07. 30. és 08. 15.) a legalacsonyabb LAI értéket mértük (4,79 és 3,91), amely jól jellemzi a hibrid generatív jellegét (3. táblázat).

11. ábra. FAO 550 kukorica hibrid fejlődési dinamikája
(Debrecen-Látókép, 2024)

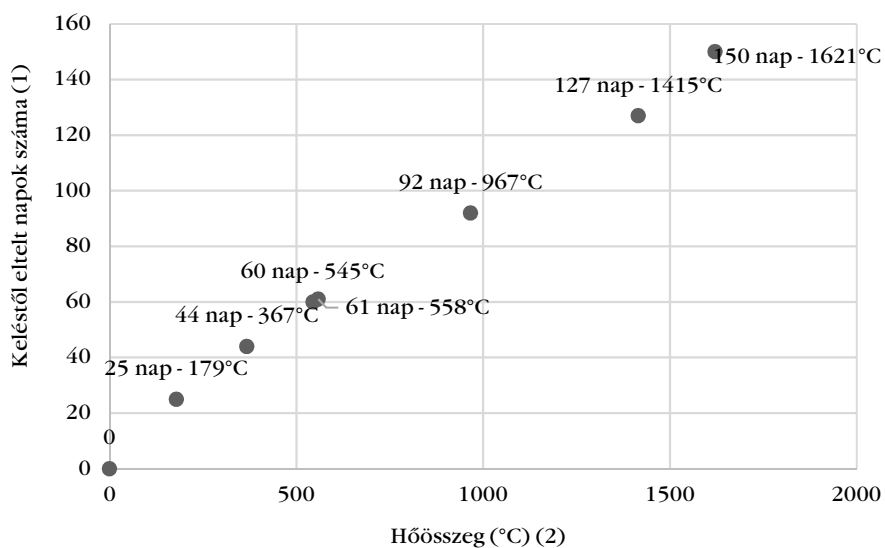


Figure 11. FAO 550 maize hybrid development dynamics (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Number of days since sowing, (2) Heat sum (°C)

3. táblázat. *Eltérő kukorica hibridek levélterület-indexe (m²/m²)*
(Debrecen-Látókép, 2024)

| Hibridek (1) | Dátum (2) | | | |
|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| | 2024. 06. 13. | 2024. 07. 02. | 2024. 07. 30. | 2024. 08. 15. |
| FAO 350 | 4,83 ^a | 5,82 ^a | 6,13 ^a | 4,55 ^a |
| FAO 390 | 3,91 ^a | 5,67 ^a | 5,35 ^b | 3,80 ^b |
| FAO 410 | 4,29 ^c | 5,18 ^b | 5,21 ^b | 3,82 ^b |
| FAO 550 | 4,37 ^c | 5,62 ^a | 4,79 ^c | 3,91 ^b |

Megjegyzés: az eltérő betűvel jelzett értékek az egyes időpontokon belül egymástól statisztikailag különböznek.

Table 3. Leaf area index of different maize hybrids (m²/m²) (Debrecen-Látókép, 2024). (1) Hybrids, (2) Date, Note: values with different lettering within each time point are statistically different from each other.

Növényfiziológiai paraméterek

Az egyes különböző érésidejű hibridek fiziológiai érettséget megelőző, valamint azt követő vízleadási dinamikája, fiziológiás és fizikai vízvesztésének vizsgálata céljából a szemtelítődés kezdetétől a feketeteréteg kialakulásáig heti szemnedvességméréseket végeztünk. Ezeket a méréseket a betakarításkori nedvességtartalommal kiegészítve határoztam meg az egyes hibridek vízleadás-dinamikai jellemzőit.

A FAO 350 hibrid vízleadás-dinamikai elemzése alapján megállapítható, hogy a legalacsonyabb kezdeti nedvességtartalom (48,05%) mellett egyenletes vízleadási jellemzők mellett a legmagasabb, 13,7%-os betakarításkori szemnedvességet mértünk (12. ábra). A rövid tenyészidejű hibrid vízleadás-dinamikája elmaradt a többi, hosszabb érésidővel jellemezhető hibrid paramétereitől.

12. ábra. FAO 350 kukorica hibrid vízleadási dinamikája (%)
(Debrecen-Látókép, 2024)

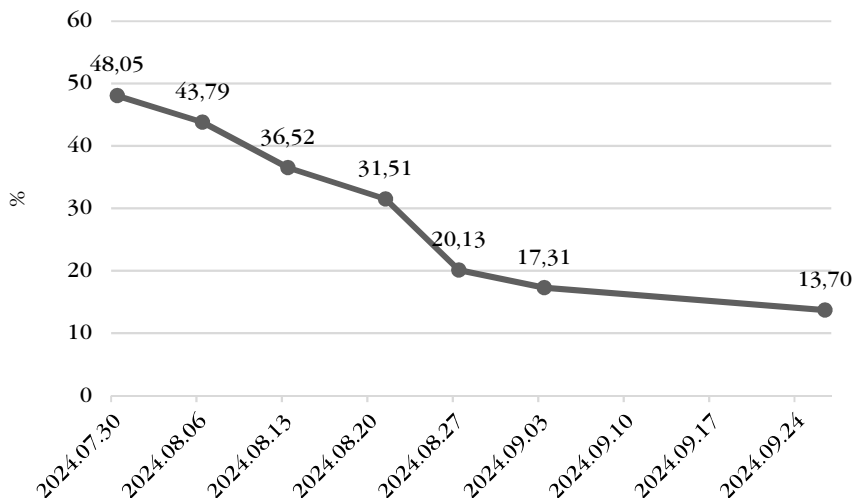


Figure 12. Water release dynamics of FAO 350 maize hybrid (Debrecen-Látókép, 2024)

A FAO 390 kukorica hibridnek egy magas kezdeti szemnedvesség-tartalomról (51,77%) egy gyors, dinamikus vízleadási folyamat során a fiziológiai érésig 14,62% -ig csökkent a szemnedvessége. Ezt követően a fizikai vízvesztés már

kisebb mértékű volt, 13,16% betakarításkori szemnedvességet eredményezve (13. ábra).

13. ábra. FAO 390 kukorica hibrid vízleadási dinamikája (%)
(Debrecen-Látókép, 2024)

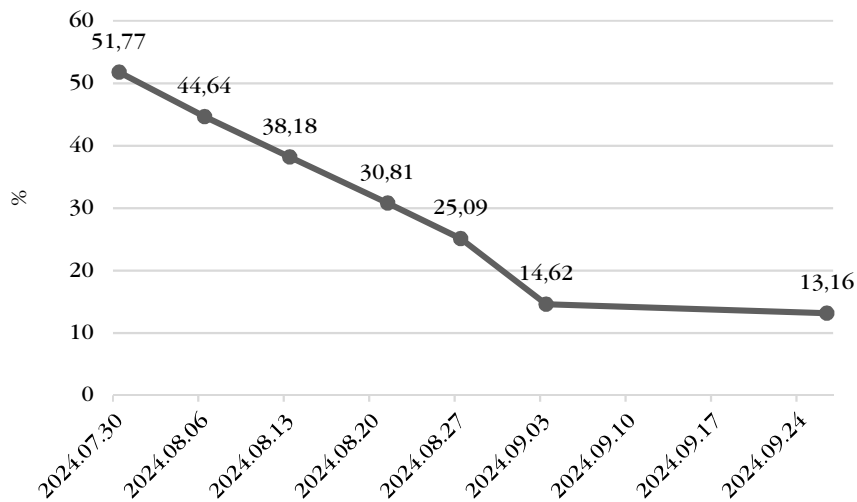


Figure 13. Water release dynamics of FAO 390 maize hybrid (Debrecen-Látókép, 2024)

A FAO 410-es érésidőjű kukorica hibrid vízleadás-dinamikája a hasonló, FAO 390 érésidőjű hibrid paramétereivel nagymértékben azonos volt, egy kezdeti, átlagos szemnedvesség-tartalomról (49,83%) gyors fiziológiai vízleadás következett, a fiziológiai érettségig 14,03% szemnedvességgel ért el, amelyet ezt követően kismértékű, 0,88% fizikai vízvesztés követett, kialakítva a 13,15%-os betakarításkori szemnedvesség-tartalmat (14. ábra).

A leghosszabb, FAO 550 érésidővel jellemezhető kukorica hibrid mérései alapján egy jó vízleadási paraméterekkel rendelkező hibrid. A kezdeti magas, 51,12%-os nedvességtartalomról a betakarításig 13,69%-ig volt képes csökkenteni a szemnedvesség-tartalmát, amely a hosszú tenyészidő ellenére jó betakaríthatóságot és későbbi hasznosítást tett lehetővé (15. ábra).

14. ábra. FAO 410 kukorica hibrid vízleadási dinamikája (%)
(Debrecen-Látókép, 2024)

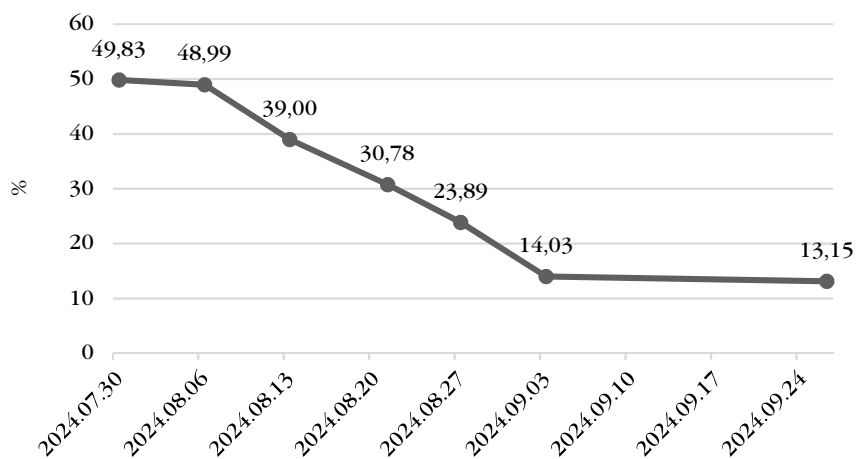


Figure 14. FAO 410 maize hybrid water release dynamics (Debrecen-Látókép, 2024)

15. ábra. FAO 550 kukorica hibrid vízleadási dinamikája (%)
(Debrecen-Látókép, 2024)

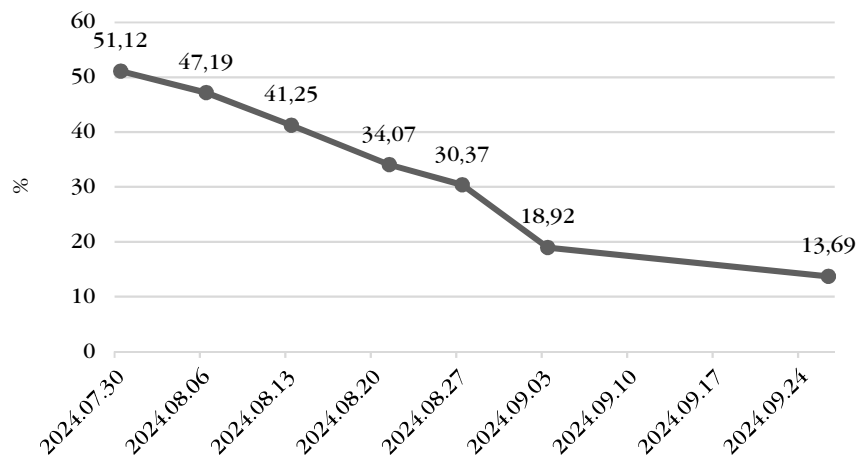


Figure 15. Water release dynamics of FAO 550 maize hybrid (Debrecen-Látókép, 2024)

Relatív klorofilltartalom (SPAD érték)

A növények leveleinek relatív klorofilltartalma korábbi kutatások alapján szoros kapcsolatban áll a növények nitrogén-ellátottságával, amely fő esszenciális makroelemként meghatározza a növények növekedését, fejlődését.

A FAO 350 kukorica hibrid relatív klorofilltartalmának dinamikai értékelése során az R4 fenofázisban mértük a legmagasabb SPAD értéket (63,2). A vegetatív fenofázisokban egyenletes relatív klorofilltartalom-növekedés jellemezte a hibridet, Az utolsó, R5 fenofázisban a fiziológiai érést megelőzően mértünk csökkenő értéket (16. ábra).

16. ábra. FAO 350 kukorica hibrid relatív klorofilltartalma a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

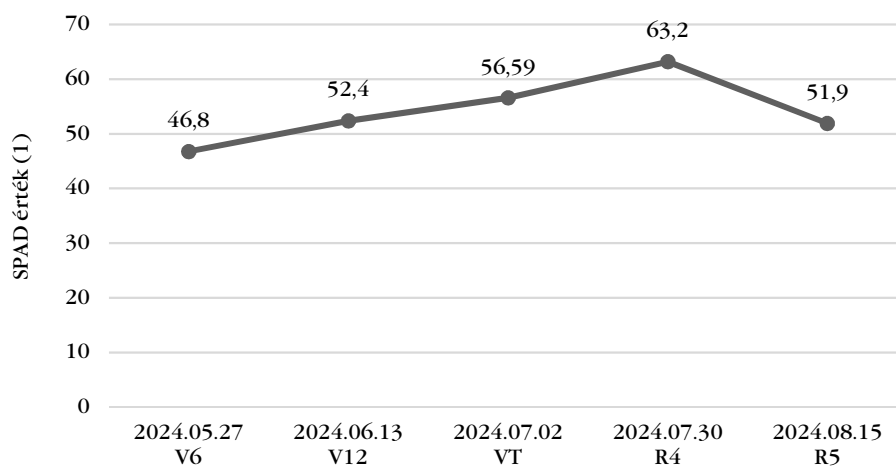


Figure 16. Relative chlorophyll content of FAO 350 maize hybrids at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) SPAD reading

A FAO 390 kukorica hibrid relatív klorofilltartalma kiegyenlítettebb dinamikájú volt. A kezdeti, vegetatív fejlődésben V12 fenofázisban érte el a legmagasabb értéket (57,3), amely utána egészen R4 fejlődési stádiumig statisztikailag azonos szinten volt (56,0). Ezt követően a fiziológiai érést

megelőzően mértünk enyhe csökkenést, 50,7 SPAD értékkel az R5 fenofázisban (17. ábra).

17. ábra. FAO 390 kukorica hibrid relatív klorofilltartalma a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

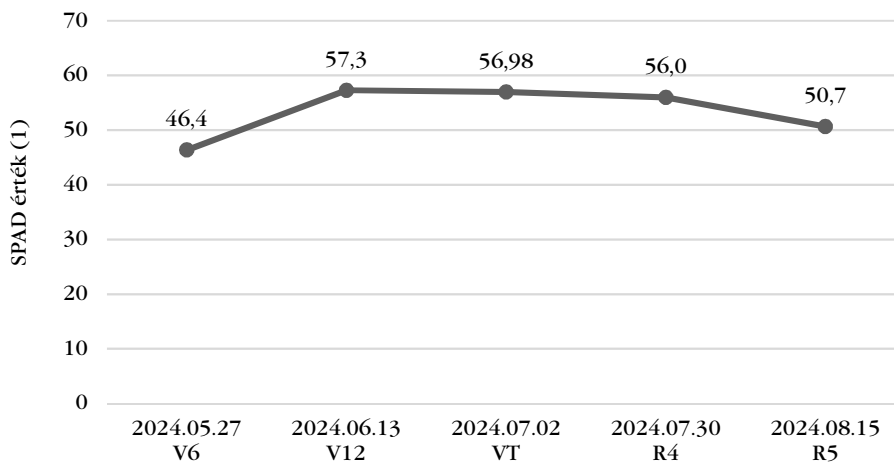


Figure 17. Relative chlorophyll content of FAO 390 maize hybrids at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) SPAD reading

A FAO 410 hibrid relatív klorofilltartalom-dinamikájában hasonló jellemzőket figyeltünk meg a FAO 390-es érésidőjű hibrid jellemzőivel. A statisztikailag nem elkülöníthető legmagasabb SPAD értékeket V12, VT és R4 fázisban mértük, ezután az utolsó mérési időpontban a vizsgált hibridek közül a legalacsonyabbra, 45,4 SPAD értékre csökkent a relatív klorofilltartalma (18. ábra).

A FAO 550 kukorica hibrid a hosszabb tenyészidejének megfelelően egyenletes növekedés mellett később, R4 fenofázisban érte el a legmagasabb relatív klorofilltartalmat (58,7), amely a fiziológiai érést megelőzően R5 fázisban a többi hibrid értékeihez hasonlóképpen csökkent le (19. ábra).

18. ábra. FAO 410 kukorica hibrid relatív klorofilltartalma a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

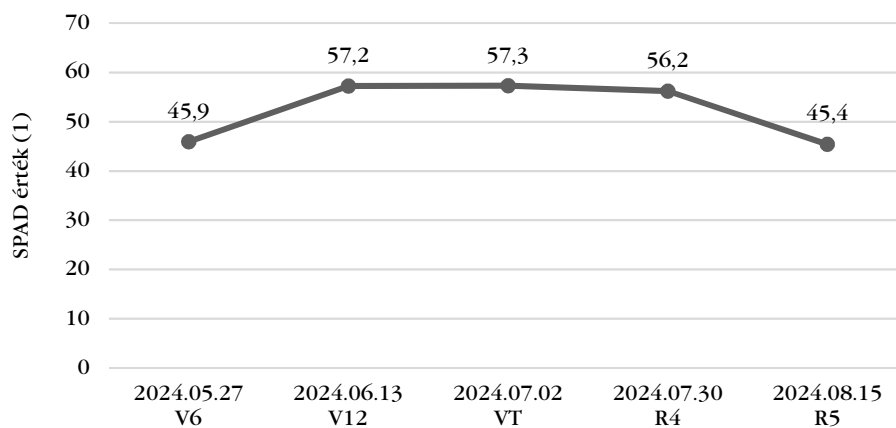


Figure 18. Relative chlorophyll content of FAO 410 maize hybrids at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) SPAD reading

19. ábra. FAO 550 kukorica hibrid relatív klorofilltartalma a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

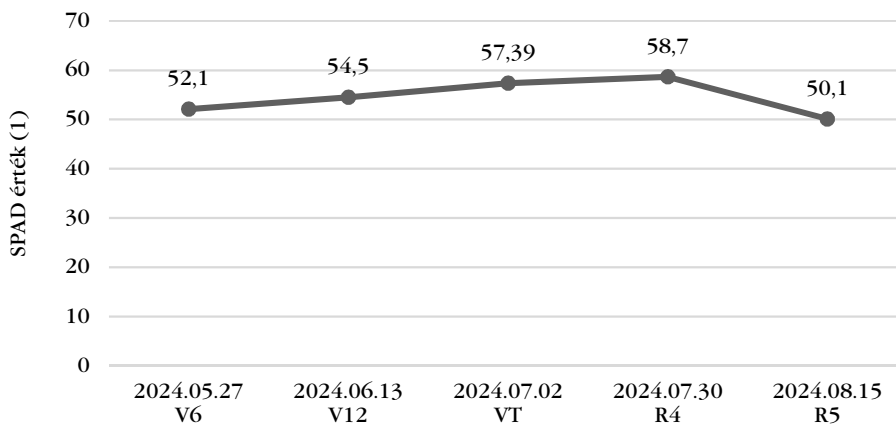


Figure 19. Relative chlorophyll content of FAO 550 maize hybrids at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) SPAD reading

Normalizált Differencia Vegetációs Index (NDVI)

Az NDVI érték a növények széleskörben elterjedt jellemző mérőszáma, amely a növényállomány zöldességének értékelésével segíti az egyes növények tápanyag-ellátottságának közvetett, roncsolásmentes értékelését.

Az NDVI értékek vizsgálata során a rövid tenyészidejű FAO 350 kukorica hibrid kiemelkedett a többi vizsgált hibrid közül. A legmagasabb - V12 és VT fenofázisban azonos - 0,83 NDVI értéke a tenyészidőszak későbbi szakaszaiban csak kis mértékben, 0,79 NDVI értékre csökkent, amely a szemtelítődési fenofázisokban is nagyobb asszimilációs felületet jelentett (20. ábra).

20. ábra. FAO 350 kukorica hibrid NDVI értéke a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

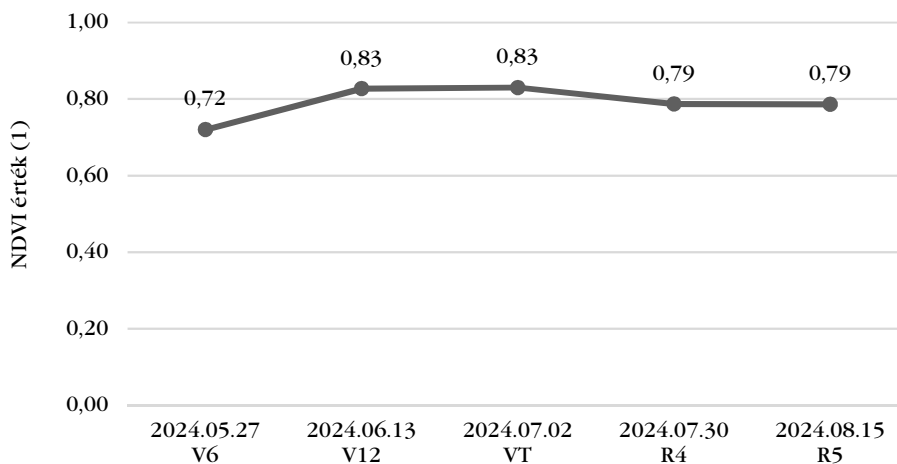


Figure 20. FAO 350 maize hybrid NDVI at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) NDVI value

A FAO 390 érésidejű hibrid NDVI dinamikája egy, a középérésű kukorica hibridekre jellemző mintázatot mutatott, amely szerint a V12 és VT fenofázisban szinte megegyező (0,83-0,84) NDVI értéket mértünk, amelyet a tenyészidőszak előre haladtával lassú, egyenletes csökkenés követett (21. ábra).

21. ábra. FAO 390 kukorica hibrid NDVI értéke a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

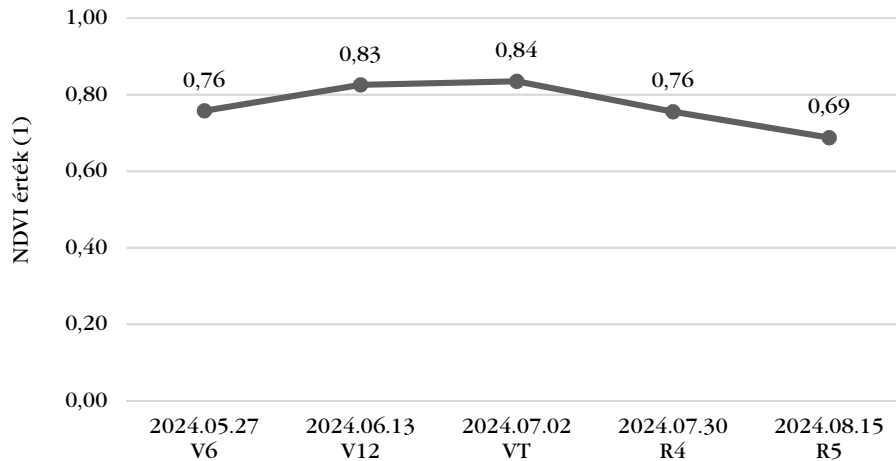


Figure 21. FAO 390 maize hybrid NDVI at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) NDVI value

A középérésű FAO 410 hibrid NDVI dinamikája eltért a többi vizsgált hibrid értékeitől, ugyanis a legmagasabb NDVI értéket már V12 fenofázisban elérte, azt követően egy egyenletes csökkenést figyeltünk meg az értékekben (22. ábra).

A leghosszabb, FAO 550 tenyészidejű kukorica hibrid NDVI értékeinek dinamikai alakulását vizsgálva megállapítottuk, hogy a hímvirágzás (VT) fenofázisban volt a legmagasabb NDVI értéke (0,85), amely a fenofázisok előre haladtával R5 stádiumban 0,68-ra csökkent (23. ábra).

Összességében megállapítottuk, hogy az egyes különböző érésidejű kukorica hibridek között a vizsgált fenometriai, fiziológiai és termésparaméterekben jelentős, sok esetben statisztikailag igazolható különbség volt, lehetővé téve az egyes hibridek főbb tulajdonságainak pontos elkülönítését.

22. ábra. FAO 410 kukorica hibrid NDVI értéke a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

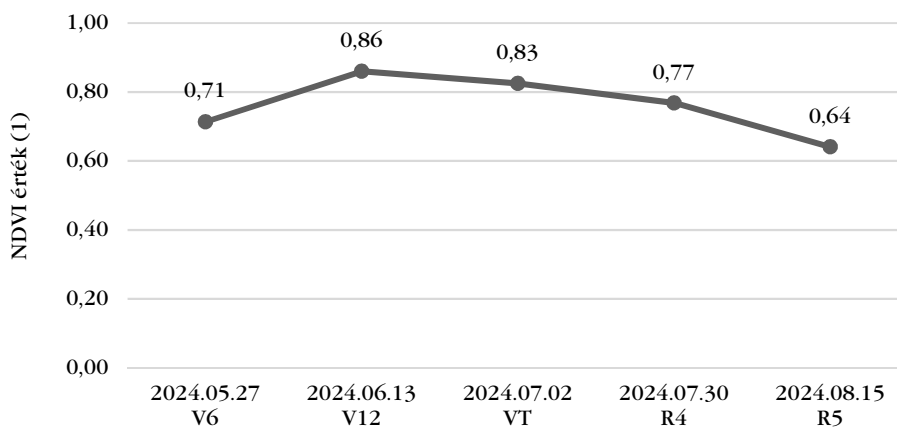


Figure 22. FAO 410 maize hybrid NDVI at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) NDVI value

23. ábra. FAO 550 kukorica hibrid NDVI értéke a kritikus fenológiai fázisokban (Debrecen-Látókép, 2024)

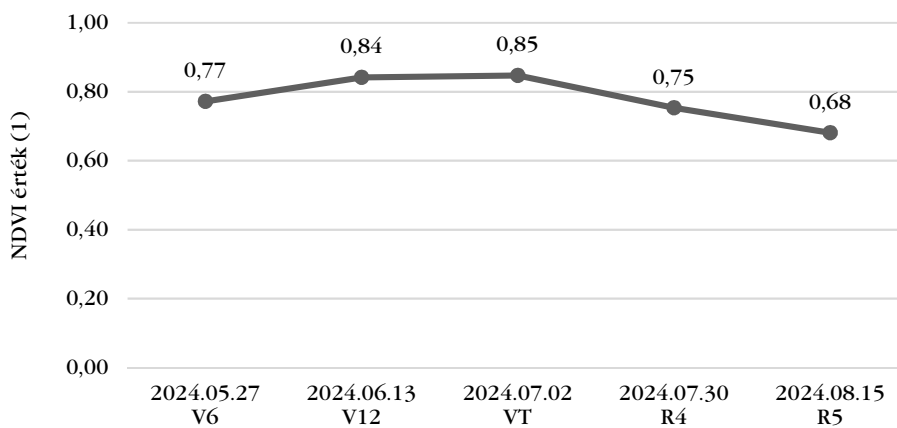


Figure 23. FAO 550 maize hybrid NDVI at critical phenological stages (Debrecen-Látókép, 2024). (1) NDVI value

IRODALOM

- Bojtor, C.–Illés, Á.–Horváth, É.–Nagy, J.–Marton, L. C.*: 2021a. Hybridspecific nutrient interactions and their role in maize yield quality. *Agron. Res.* 19. 4: 1698–1710. <https://doi.org/10.15159/ar.21.148>
- Bojtor, C.–Illés, Á.–Mousavi, S. M. N.–Széles, A.–Tóth, B.–Nagy, J.–Marton, C. L.*: 2021b. 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, C.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Széles, A.–Nagy, J.–Marton, C. L.*: 2021c. 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>
- Bojtor, C.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Golzardi, F.–Széles, A.–Szabó, A.–Nagy, J.–Marton, C. L.*: 2022. Nutrient composition analysis of maize hybrids affected by different nitrogen fertilisation systems. *Plants.* 11. 12: 1593. <https://doi.org/10.3390/plants11121593>
- Cedric, L. S.–Adoni, W. Y. H.–Aworka, R.–Zoueu, J. T.–Mutombo, F. K.–Krichen, M.–Kimpolo, C. L. M.*: 2022. Crops Yield Prediction Based on Machine Learning Models: Case of West African Countries. *Smart Agriculture Technology.* 2: 100049.
- Eurostat*: 2020. Grain Maize and Corn-Cob-Mix by Area, Production and Humidity. Available online: <https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/bookmark/dcb7c23b-33a1-484f-b964-439a4eb37a4a?lang=en> (accessed on 24 June 2020).
- Gombos B.–Nagy J.*: 2022. A látóképi kukorica tartamkísérlet 2021-es tenyészidőszakának agrometeorológiai jellemzőinek elemzése. *Növénytermelés.* 71. 1: 7–20.
- Gombos B.–Nagy J.*: 2023. A 2022-es rendkívüli aszály agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen. *Növénytermelés.* 72. 1: 1–14.
- Gombos B.–Nagy J.*: 2024. A 2023-as kukorica tenyészidőszak agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen. *Növénytermelés.* 73. 1: 29–39.
- Gombos B.–Nagy Z.*: 2021. A kukorica éghajlatigénye. [In: Nagy J. (szerk.) *Kukorica: a nemzet aranya: étel- és takarmány, bioenergia.*] Szaktudás Kiadó. Budapest. 165–172.
- Gombos, B.–Nagy, Z.–Hajdu, A.–Nagy, J.*: 2023. Climate Change in the Debrecen Area in the Last 50 Years and its Impact on Maize Production. *IDŐJÁRÁS / Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service.* 127. 4: 485–504.
- Hanway, J. J.*: 1963. Growth Stages of Corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal.* 55: 487–492.

- Harsányi, E.–Bashir, B.–Arshad, S.–Ocwa, A.–Vad, A.–Als Salman, A.–Bácskai, I.–Rátonyi, T.–Hijazi, O.–Széles, A.–Mohammed, S.: 2023. Data Mining and Machine Learning Algorithms for Optimizing Maize Yield Forecasting in Central Europe. *Agronomy*. 13. 5: 1297. <https://doi.org/10.3390/agronomy13051297>
- Horváth, É.–Gombos, B.–Széles, A.: 2021a. Evaluation of Phenology, Yield and Quality of Maize Genotypes in Drought Stress and Non-Stress Environments. *Agronomy Research*. 19: 408–422. <https://doi.org/10.15159/AR.21.073>
- Horváth, É.–Tamás, A.–Fejér, P.–Széles, A.: 2021b. Effect of Different N Doses on Maize Yield and Quality. *Acta Agraria Debreceniensis*. 1: 97–101. <https://doi.org/10.34101/actaagrar/1/8493>
- Horváth, É.–Széles, A.: 2021. Környezeti tényezők és az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica néhány fiziológiai tulajdonságára és a termésre. *Növénytermelés*. 69: 57–79.
- Illés, Á.–Bojtor, C.–Mousavi, S. M. N.–Széles, A.–Tóth, B.–Szabó, A.–Nagy, J.: 2021a. 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, C.–Nagy, J.: 2020. Eltérő NPK-ellátottság hatása a kukorica hibridek lipidperoxidációjának mértékére. *Növénytermelés*. 69: 53–65.
- Illés, Á.–Bojtor, C.–Széles, A.–Mousavi, S. M. N.–Tóth, B.–Nagy, J.: 2021b. 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>
- IPCC: 2023. Climate Change 2023: Synthesis Report. [In: Core Writing Team, Lee, H. and Romero, J. (eds.) A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.] Geneva. Switzerland.
- Lu, D.–Sun, X.–Yan, F.–Wang, X.–Xu, R.–Lu, W.: 2013. Effects of High Temperature During Grain Filling Under Control Conditions on the Physicochemical Properties of Waxy Maize Flour. *Carbohydrate Polymers*. 98. 1: 302–310.
- Marton, T. A.–Kis, A.–Zubor-Nemes, A.–Kern, A.–Fodor, N.: 2020. Human Impact Promotes Sustainable Corn Production in Hungary. *Sustainability*. 12. 17: 6784. <https://doi.org/10.3390/su12176784>
- Mousavi, S. M. N.–Bodnar, K. B.–Nagy, J.: 2018. Evaluation Yield and Components Yield on Three Hybrids Maize in Hungary. *Eurasia Proceedings of Science, Technology, Engineering and Mathematics*. 3: 51–55.

- Mousavi, S. M. N.-Kith, K.-Nagy, J.:* 2019. Effect of Interaction Between Traits of Different Genotype Maize in Six Fertilizer Level by GGE Biplot Analysis in Hungary. Progress in Agricultural Engineering Sciences. 15. 1: 23–35. <https://doi.org/10.1556/446.15.2019.1.2>
- Nagy, J.:* 2006. Maize production. Akadémiai Kiadó.
- Nagy J.:* 2007. Kukoricatermesztés. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Nagy J.:* 2021. Kukorica: a nemzet aranya: élelmiszer, takarmány, bioenergia. Szaktudás Kiadó.
- Nagy J.-Hadászti L.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Zelenák A.-Nyéki A.:* 2020. Fornad (FAO 420) „Smart” kukorica hibrid termesztési eredményei. Növénytermelés. 69. 2: 5–23.
- Net1:* Gyakorlati tanácsok kukorica vetéshez. <https://agro.bayer.co.hu/hirek/?id=90> (letöltve: 2025. 02. 21.)
- Net2:* Új Dekalb hibridek. https://www.dekalb.hu/documents/131312/1195346/Dekalb_kukorica_uj_hibridek_2022/a2c088a2-23bb-437b-8e03-f764fe51f082 (letöltve: 2025.02.20.)
- Net3:* Dekalb kukorica – a szezon tapasztalatai, új hibridek. <https://agraragazat.hu/hir/dekalb-kukorica/> (letöltve: 2025.02.20.)
- Net4:* Nagy dobás a Dekalb-tól: ezek a hibridek még a kíméletlen aszályt is kibírják. <https://www.agroinform.hu/szantofold/rendkivuli-uj-dekalb-hibridek-pajzzsal-kukoricatablakon-aszaly-51494-002> (letöltve: 2025.02.20.)
- Net5:* Kukorica vetőmag katalógus 2024/2025. www.dekalb.hu/documents/131312/247626/Bayer_Dekalb_kukorica_A4_2025_oldpar.pdf/ef54927f-5fea-4426-9195-b3f339fc800b (letöltve: 2025.02.20.)
- Nielsen, D. C.-Halvorson, A. D.-Vigil, M. F.:* 2010. Critical Precipitation Period for Dryland Maize Production. Field Crops Research. 118: 259–263. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2010.06.004>
- Nyéki A.-Gombos B.-Nagy J.:* 2020. Nitrogéntrágyázás hatékonyságának vizsgálata Ceres-Maize Modellel a Debrecen-Látóképi Tartamkísérlet eredményeinek felhasználásával. Növénytermelés. 69: 33–52.
- Ocwa, A.-Bojtor, C.-Illés, Á.-Ssemugenze, B.-Balaout, I.-Rátonyi, T.-Széles, A.-Harsányi, E.:* 2024a. Precision drip Irrigation System and Foliar Application of Biostimulant and Fertilizers Containing Micronutrients Optimize Photochemical Efficiency and Grain Yield of Maize (*Zea mays* L). Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 1–15. <https://doi.org/10.1007/s42729-024-02074-4>
- Ocwa, A.-Harsányi, E.-Széles, A.:* 2023. A Bibliographic Review of Climate Change and Fertilization as the Main Drivers of Maize Yield: Implications for Food Security. Agriculture & Food Security. 12: 14. <https://doi.org/10.1186/s40066-023-00419-3>

- Ocwa, A.–Mohammed, S.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Bojtor, C.–Ragán, P.–Rátonyi, T.–Harsányi, E.: 2024b. Maize Grain Yield and Quality Improvement Through Biostimulant Application: a Systematic Review. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* <https://doi.org/10.1007/s42729-024-01687-z>
- Pepó P.: 2017. Tartamkísérletek mint a klímaváltozás indikátorai. *Növénytermelés.* 66. 3: 33–46.
- Rácz, D.–Szőke, L.–Tóth, B.–Kovács, B.–Horváth, É.–Zagyi, P.–Duzs, L.–Széles, A.: 2021. Examination of the Productivity and Physiological Responses of Maize (*Zea mays* L.) to Nitrapyrin and Foliar Fertilizer Treatments. *Plants.* 10. <https://doi.org/10.3390/plants10112426>
- Ritchie, J. T.–Singh, U.–Godwin, D. C.–Humphries, J.: 1994. CERES Cereal Generic Model FORTAN Source Code. Michigan State University. East-Lansing. MI.
- Shojaei, S. H.–Mostafavi, K.–Bihamta, M. R.–Omrani, A.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Bojtor, C.–Nagy, J.: 2022. Stability on maize hybrids based on GGE biplot graphical technique. *Agronomy.* 12. 2: 394. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020394>
- Shojaei, S. H.–Mostafavi, K.–Lak, A.–Omrani, A.–Omrani, S.–Mousavi, S. M. N.–Illés, Á.–Bojtor, C.–Nagy, J.: 2021. Evaluation of stability in maize hybrids using univariate parametric methods. *Journal of Crop Science and Biotechnology.* 1–8. <https://doi.org/10.1007/s12892-021-00129-x>
- Sojnoczki I.–Nagy J.–Kecskés I.: 2023. A kukorica (*Zea mays* L.) kelési dinamikának a termésre gyakorolt hatása. *Növénytermelés.* 72. 4: 97–112.
- Ssemugenze, B.–Ocwa, A.–Kuunya, R.–Gumisiriya, C.–Bojtor, C.–Nagy, J.–Széles, A.–Illés, Á.: 2025. Enhancing Maize Production Through Timely Nutrient Supply: The Role of Foliar Fertiliser Application. *Agronomy.* 15. 1: 176. <https://doi.org/10.3390/agronomy15010176>
- Szabó, A.–Mousavi, S. M. N.–Bojtor, C.–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>
- Széles, A.–Horváth, É.–Zagyi, 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.
- Széles, A.–Nagy, J.–Rátonyi, T.–Harsányi, E.: 2019. Effect of Differential Fertilisation Treatments on Maize Hybrid Quality and Performance Under Environmental Stress Conditions in Hungary. *Maydica.* 62: 11–14.
- UN Comtrade: 2020. Corn Export of Hungary. (available online: <http://comtrade.un.org/api/get?max=500&type=C&freq=A&px=HS&ps=all&r=348&p=0&rg=2&cc=1005>) (accessed on 24 June 2020).

- Wheeler, T. R.-Craufurd, P. Q.-Ellis, R. H.-Porter, J. R.-Vara Prasad, P.:* 2000. Temperature Variability and the Yield of Annual Crops. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 82: 159-167.
- Zagyi, P.-Horváth, É.-Vasvári, Gy.-Simon, K.-Széles, A.:* 2024. Effect of Split Basal Fertilisation and Top-Dressing on Relative Chlorophyll Content and Yield of Maize Hybrids. *Agriculture*. 14. 6: 956. <https://doi.org/10.3390/agriculture14060956>
- Zhang, X.-Cheng, J.-Wang, B.-Yan, P.-Dai, H.-Chen, Y.-Sui, P.:* 2019. Optimum Sowing Dates for High-Yield Maize When Grown as Sole Crop in the North China Plain. *Agronomy*. 9. 4: 198. <https://doi.org/10.3390/agronomy904019>

A szerző levelezési címe - Address of the author:

Dorogházi Ottó
Debreceni Egyetem
Kerpely Kálmán Doktori Iskola
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
otto.doroghazi@bayer.com

