

Az alap- és fejtrágyázás, valamint az öntözés hatása a levélfelület indexre és a termés mennyiségére kukorica állományban

ZAGYI PÉTER - HORVÁTH ÉVA - TAMÁS ANDRÁS -
SIMON KÁROLY - SZÉLES ADRIENN

Debreceni Egyetem MÉK

Földhasznosítás, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

Az alap- és fejtrágyázás, valamint az öntözés hatását vizsgáltuk extrém száraz évben (2022) a levél felület index (LAI) értékre és a termésre, kukoricában. A vizsgálatokat Magyarországon, a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén mészlepedékes csernozjom talajon végeztük. A szántóföldi tartamkísérletben a műtrágyázás nélküli (kontroll, A₀) kezelés mellett a nitrogén (N) műtrágyaadagok alap- és fejtrágyaként megosztva kerültek kijuttatásra. A tavaszi alaptrágyaként kijuttatott 60 és 120 kg N/ha dózist (A₆₀, A₁₂₀), kétszeri fejtrágyázás követte V6 és V12 fenofázisban (V6₉₀, V6₁₅₀, illetve V12₁₂₀, V12₁₈₀), mennyisége +30 és +30 kg N/ha volt. A területre 115 mm öntözővíz mennyiség került kijuttatásra. A vizsgálati év eredményei alapján megállapítható, hogy az eltérő fenológiai fázisokban (V8, V10, V12, Vn, VT, R1 R3, R6) – a hibridek és kezelések átlagában – a LAI értékek a vegetatív fejlődési szakaszban növekedtek. A legnagyobb érték a Vn fenológiai fázisban (öntözött 3,074±0,595; nem öntözött: 2,495±0,324) alakult ki (p<0,05). A legkisebb LAI értékeket az A₀ kezelésben (öntözött: 1,663±0,633; nem öntözött: 1,324±0,455), míg a legnagyobb értékeket mind öntözött (2,620±0,928 m²/m²; p<0,05) mind nem öntözött (1,702±0,622; p<0,05) körülmények között az A₁₂₀ kezelésben mértük. A fejtrágyázás hatására statisztikailag igazoltan nem növekedett a LAI érték. A legkisebb műtrágyaadag (A₆₀) öntözött körülmények között 92,3%-kal, nem öntözött körülmények között 64,7%-kal növelte a termést az A₀ kezeléshez képest. A 120 kg N/ha alapkezelés további termésnövekedést eredményezett a 60 kg N/ha alapkezeléshez képest (öntözött: +19,8%; nem öntözött: +24,4%). A statisztikailag is igazolható legnagyobb termést az A₁₂₀ kezelés

eredményezte (öntözött: $11,863 \pm 1,104$ t/ha; nem öntözött: $8,649 \pm 0,971$ t/ha; $p < 0,05$). A LAI és termés között a fenológiai fázisok előre haladtával eltérő mértékű összefüggést mutattunk ki. Öntözött körülmények között a VT ($r = 0,753^{***}$) fenofázisban mért LAI értékek voltak a legnagyobb hatással a termés alakulására. Nem öntözött körülmények között a Vn ($r = 0,602^{***}$) fenológiai szakaszban mutattuk ki a legszorosabb korrelációt a két tényező között. Az elvégzett kutatás hozzájárul a megcélzott termésmennyiség növeléséhez, a fenntartható termelés eléréséhez és a megfelelő döntéshozatalhoz extrém száraz évben.

Kulcsszavak: kukorica, LAI, műtrágya, öntözés, termés

Effect of basal and top-dressing fertilisation and irrigation on leaf area index and yield in maize stands

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

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

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

Summary

The effects of basal and top-dressing fertilisation and irrigation on leaf area index (LAI) and yield in maize in an extreme dry year (2022) were investigated. The studies were carried out in Hungary, at the University of Debrecen Látókép Experiment Site on calcareous chernozem soil. In the field experiments, nitrogen (N) was applied as a basal and top-dressing fertiliser in split rates in a non-fertilised control (A_0). The spring application rates of 60 and 120 kg N/ha (A_{60} , A_{120}), applied as spring basal fertiliser, were followed by two top dressings at V6 and V12 phenophases (V_{690} , V_{6150} and V_{12120} , V_{12180}), at rates of +30 and +30 kg N/ha, respectively. The application rate was 115 mm of irrigation water. Based on the results of the test year, it can be concluded that in the different phenological stages (V8, V10, V12, Vn, VT, R1 R3, R6), averaged over the hybrids and treatments, LAI values increased in the vegetative development stage. The highest value was observed in the Vn phenological phase (irrigated 3.074 ± 0.595 ; non-irrigated: 2.495 ± 0.324) ($p < 0.05$). The lowest LAI values were

measured in the A₀ treatment (irrigated: 1.663±0.633; non-irrigated: 1.324±0.455), while the highest values were measured in both irrigated (2.620±0.928 m²/m²; p<0.05) and non-irrigated (1.702±0.622; p<0.05) conditions in the A₁₂₀ treatment. There was no significant increase in LAI as a result of top-dressing. The lowest fertiliser rate (A₆₀) increased yield by 92.3% under irrigated conditions and by 64.7% under non-irrigated conditions compared to the A₀ treatment. The 120 kg N/ha basal treatment resulted in a further yield increase compared to the 60 kg N/ha basal treatment (irrigated: +19.8%; non-irrigated: +24.4%). The highest significant yield was obtained with the A₁₂₀ treatment (irrigated: 11.863±1.104 t/ha; non-irrigated: 8.649±0.971 t/ha; p<0.05). A different degree of correlation between LAI and yield was found as the phenological stages progressed. Under irrigated conditions, LAI values measured at the VT (r=0.753^{***}) phenophase had the greatest effect on yield. Under non-irrigated conditions, the Vn (r=0.602^{***}) phenological stage showed the strongest correlation between the two factors. The research carried out contributes to increase the target yield, to achieve sustainable production and to make appropriate decisions in extreme dry years.

Keywords: maize, LAI, fertiliser, irrigation, yield

Bevezetés

A kukorica nélkülözhetetlen Földünkön élő emberek ételmezésében, haszonállatok takarmányozásában, valamint a világ energiabiztonságát is javítja (Hou et al. 2020). Nagymértékben hozzájárul a napjainkban zajló klímaváltozás és a növekvő népesség okozta ételmezzellátási kihívások leküzdéséhez (Nagy 2021). A kukorica globális növekedése, termelése növekszik (Nagy 2008), ugyanakkor a folyamatosan növekvő és változó ételmezzellátási igény kielégítéséhez 2030-ig legalább 18-20%-kal javulnia kell a kukoricatermesztésnek (Listman és Ordóñez 2019). A legutóbbi húsz év alatt termőterülete 48%-kal, 137 millió hektárról 202 millió hektárra növekedett, termésmennyisége pedig közel megduplázódott, 590 millió tonnáról 1163 millió tonnára emelkedett (FAO 2022). A világban betöltött igen fontos szerepe várhatóan a jövőben is megmarad (Erenstein et al. 2022).

A kukorica termesztése során az egyik legfontosabb agrotechnikai tényező a tápanyagutánpótlás. A kukorica tápanyag-hasznosító képessége, különösen a

nitrogén esetében, jelentősen javul megfelelő tápanyag-utánpótlási rendszerek alkalmazásával (Széles et al. 2018). A nitrogén (N) az egyik legfontosabb tápanyag a növények növekedéséhez. Nagy hatással van a vegetatív folyamatokra, az optimális csírázáskori tápanyag-ellátottság pozitívan befolyásolja a csírázást és a kelést, ezáltal biztonságosabb, magasabb termés (Szabó et al. 2022a, Zelenák et al. 2022) és minőség érhető el (Rhezali et al. 2021, Széles et al. 2023a). Hiánya tápanyag-stressz kialakulásához vezethet, ami a kukorica fejlődésének, növekedésének egyik fő korlátozója lehet (Berzsenyi 2009, Du et al. 2020, Rácz et al. 2021). A túlzott használata azonban súlyos környezeti problémákhoz vezet (Mester et al. 2020, Omar et al. 2022, Adalibieke et al. 2023). A műtrágyaadagok a növény által felhasznált optimális mennyisége és annak időbeni kijuttatása nagymértékben befolyásolja a kukorica teljes biomassza-termelését és termésének alakulását (Gaj et al. 2020, Sucunza et al. 2018, Széles et al. 2019b).

A tavasszal kijuttatott alaptrágya és a vegetációs időszak korai fejlődési fázisaiban (V6, V12) alkalmazott fejtrágya javítja a termés nagyságát (Horváth et al. 2021), csökkenti a nitrogénvesztést, ezáltal javul a nitrogénellátás és a termelés hatékonysága (Széles et al. 2019a, Mousavi et al. 2020).

Az öntözés egy másik fontos termesztéstechnológiai tényező, amely lehetőséget ad a kukoricatermesztés hatékonyságának növelésére és az aszály stressz csökkentésére (Ványiné et al. 2012, Wang et al. 2021). Aszálystressz során csökken a CO₂ abszorpciója, ami károsan befolyásolja a fotoszintézist, és negatív hatással van a kukorica növekedésére és fejlődésére (Tian et al. 2019). Tamás et al. (2022) kísérleteinek eredményei alapján az öntözés és az eltérő nitrogén dózisok szorosan korrelálnak a kukorica terméseredményeivel. Az öntözés javítja a tápanyag hasznosulását, növeli a növény levél területét, ezáltal csökken a nitrogén veszteség (Csajbók és Kutasy 2002, Li et al. 2020).

A levél felület index (LAI) alakulására hatással van a nitrogén, vizsgálata hozzájárulhat a termés előre jelzéséhez (Buschmann és Nagel 1993). A SPAD és a LAI együttes modellbe foglalása biztosította a legpontosabb termés-előrejelzést, mely összefüggés a VT szakaszban a legszorosabb ($R^2=0,762$) (Széles et al. 2023b). A LAI mérése alapvető fontosságú mind a területen, mind időben a hozamok becsléséhez és a növekedési ráták monitoringozásához (Jin et al. 2016). Haghghi et al. (2010) vizsgálatai során azt tapasztalták, hogy 300 kg N/ha hatóanyag kijuttatás mellett 5,1 volt a levél felület index, valamint szoros

összefüggést ($r=0,91^{**}$) állapítottak meg a LAI és a termés között. *Hammad et al.* (2011) kísérletei során a legnagyobb LAI értéket (5,06) 250 kg N/ha kezelés mellett mutatta ki. Az eltérő genotípusú kukorica hibridek a különböző mennyiségű nitrogén dózisok hatására vegetációs időszak más-más időpontjában érik el a legnagyobb LAI-értéket (*Szabó et al.* 2022b). Magyarországon a kukorica optimális levél felület indexe 4,1–5,9 között alakul (*Széles et al.* 2023b). A növényállomány fejlődésével a LAI is növekszik. A műtrágyázás nélküli (kontroll) kezeléshez képest a 90 kg N/ha kezelés 50%-kal, egy nagyobb, 225 kg N/ha kezelés pedig 83%-kal növelte a LAI-t (*Pokovai és Fodor* 2019).

Anyag és módszer

Kísérleti helyszín bemutatása

Vizsgálatainkat a Debreceni Egyetem Látóképi Kísérleti Telepén (É.sz. 47°33' K.h. 21°27') végeztük. A kísérlet kétismétléses sávos elrendezésű tartamkísérlet, mely 2011-ben lett beállítva öntözött és nem öntözött változatban. A terület bruttó mérete 1,5 ha. A kísérlet talaja löszön képződött, mészlepedékes csernozjom. A talajvizsgálati eredmények alapján a talaj közel semleges kémhatású, az Arany-féle kötöttségi szám 44, közepes humusz (Hu%=2,7) - és mésztartalom jellemzi. A talaj K₂O ellátottsága jó (240 mg/kg), P₂O₅ ellátottsága közepes (133 mg/kg).

Kísérlet elrendezése

A kísérletben hét műtrágyakezelést alkalmaztunk. A műtrágyázás nélküli (kontroll, A₀) kezelés mellett tavaszi alaptrágyaként 60 és 120 kg N/ha dózist (A₆₀, A₁₂₀) alkalmaztunk, melyet kétszeri fejtrágyázás követett V6 és V12 fenológiai fázisban (V6₉₀, V6₁₅₀, illetve V12₁₂₀, V12₁₈₀), mennyisége +30 és +30 kg N/ha volt. Jelen tanulmányban három eltérő genotípusú kukoricahibrid (FAO 380, FAO 420, FAO 490), 2022-es tenyészévben öntözött és nem öntözött körülmények között mért LAI és termés eredményeit vizsgáltuk. Az elemzésben az értékeket a vizsgált kukoricahibridek átlagában adtuk meg. Kukorica előveteményt követően 73 ezer növény/ha volt a vetésnorma. A kukorica vetése 2022. 04. 14-én, betakarítása 2022. 10. 05-én volt. A tenyészidőszak során négy alkalommal juttatunk ki öntözővizet (május 1.,

június 15., július 3., július 16.), összesen 115 mm mennyiségben. A betakarított szemtermést 14%-os nedvességtartalomra korrigáltuk.

A levél felület indexet (LAI) június elejétől kezdve nyolc eltérő fenofázisban (V8, V10, V12, Vn, VT, R1, R3, R6) mértük az SS1 SunScan LAI eszközzel. A mérések a vizsgált hibrideknél minden műtrágyakezelésben, öntözött és nem öntözött körülmények között folytak. Minden parcellában a 2. és 3. kukoricásor (az egyes parcellákba négy kukoricásor került elvetésre) között a talaj szintjén öt mérést végeztünk egyenlő mértékben elosztva a két sor közötti távolságot.

Időjárási jellemzők

2022-ben a január-március közötti időszakban összesen 32 mm csapadék hullott, ami napos és szeles időjárással párosult. Áprilisban a középhőmérséklet (9 °C) 2,2 °C-kal volt alacsonyabb, a csapadék pedig 3 mm-rel volt kevesebb, mint a 30 éves átlag (Nagy et al. 2023). Május hónapban a csapadék már jelentősen, 54 mm-rel volt alacsonyabb, a középhőmérséklet pedig 1,0 °C-kal volt magasabb, mint a sokéves átlag (1. táblázat).

1. táblázat. A hőmérséklet és a csapadék jellemzői 2022-ben
(Debrecen-Látókép)

Időszak (1)	Középhőmérséklet (°C) (2)	Csapadék (mm) (3)
Április (4)	9,0 (-2,2)	53 (-3)
Május (5)	17,6 (+1,0)	10 (-54)
Június (6)	22,2 (+2,9)	17 (-49)
Július (7)	23,4 (+2,1)	22 (-44)
Augusztus (8)	23,5 (+2,7)	17 (-32)
Szeptember (9)	15,3 (-0,7)	152 (+104)

Forrás: Gombos és Nagy (2023). Megjegyzés: zárójelben az 1981–2010-es időszak átlagértékeitől való eltérések.

Table 1. Temperature and precipitation characteristics in 2022 (Debrecen-Látókép). (1) Period, (2) Mean temperature (°C), (3) Precipitation (mm), (4) April, (5) May, (6) June, (7) July, (8) August, (9) September, Source: Gombos and Nagy (2023). Note: deviations from 1981–2010 averages in brackets.

A nyári hónapokban folytatódott a rendkívüli aszály, a nyári teljes csapadékösszeg 56 mm volt. Ezekben a hónapokban a havi középhőmérsékletek viszonylag egységesen 2–3 °C-kal haladták meg az átlagot. A nagyobb rész hűvös szeptemberben jelentős mennyiségű csapadék (152 mm) hullott, azonban ez már későn érkezett a kukoricának. A vegetációs időszakban kialakult igen meleg, valamint a legjelentősebb időszakokban rendkívül kevés csapadék együttesen súlyos aszály kialakulását eredményezte (*Gombos és Nagy 2023*). A viszonyítási értékeket az 1981–2010 közötti időszakhoz adtuk meg (OMSZ 30 éves átlag).

Statisztikai elemzés

A statisztikai értékeléshez az SPSS for Windows 21.0 statisztikai programcsomagot használtuk. Duncan-tesztel hasonlítottuk össze a kezelések átlagértékeit. A függő változó (LAI, termés) és a termesztési tényező (műtrágya, genotípus, öntözés) közötti kapcsolat vizsgálatára variancia-analízist végeztünk 5%-os szignifikanciaszinten ($p < 0,05$). Az öntözéstechnológia kezeléseken belüli hatását t-próbával elemeztük.

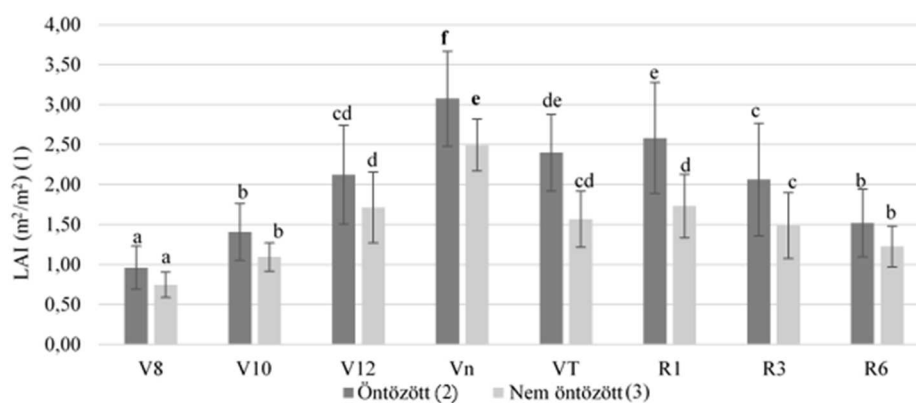
Eredmények

Az N-műtrágyázás és öntözés hatása a kukorica levél felület index (LAI) értékeire

A LAI értékét a hibridek és műtrágyakezelések átlagában a vegetációs időszak során nyolc fenológiai fázisban vizsgáltuk (*1. ábra*).

A Duncan teszt alapján a V8 fenológiai fázisban mértük a legkisebb értékeket öntözött és nem öntözött körülmények között ($0,960 \pm 0,272 \text{ m}^2/\text{m}^2$; $0,747 \pm 0,158 \text{ m}^2/\text{m}^2$), mely értékek szignifikánsan ($p < 0,05$) különböztek a vegetációs időszakban mért további értékektől. A statisztikailag igazolt legnagyobb értékeket ($3,074 \pm 0,595 \text{ m}^2/\text{m}^2$; $2,495 \pm 0,324 \text{ m}^2/\text{m}^2$) a hímvirágzást közvetlenül megelőző Vn fenológiai fázisban igazoltuk. Valamennyi fenológiai fázisban az öntözésnek pozitív hatása volt a LAI értékekre. A legnagyobb mértékben ($+0,850 \text{ m}^2/\text{m}^2$) az R1 fenológiai fázisban növekedett a LAI az öntözés hatására.

1. ábra. A kukorica LAI változásának alakulása a fenológiai fázisokban, öntözött és nem öntözött körülmények között (Látókép, 2022)



Megjegyzés: n=27. A különböző betűvel jelzett értékek öntözött és nem öntözött körülmények esetében az eltérő fenológiai fázisok között $p < 0,05$ valószínűségi szinteken szignifikánsan különböznek egymástól a Duncan-teszt alapján.

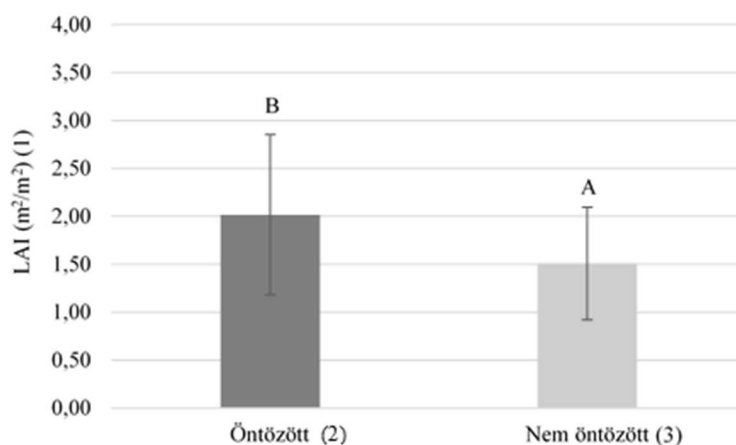
Figure 1. Changes in maize LAI during phenological stages under irrigated and non-irrigated conditions (Látókép, 2022). (1) LAI (m^2/m^2), (2) Irrigated, (3) Non-irrigated, Note: n=27. The values indicated by the different letters for irrigated and non-irrigated conditions are significantly different at $p < 0.05$ probability levels between the different phenological phases according to Duncan's test.

A fenológiai fázisok, hibridek, műtrágyakezelések átlagában az öntözésnek statisztikailag is igazolható LAI érték növelő hatása volt (2. ábra) ($p < 0.05$). A t-próba alapján két homogén csoportot igazoltunk, öntözött körülmények között $2,016 m^2/m^2$, nem öntözött körülmények között $1,507 m^2/m^2$ volt a levél felület index. Az öntözés LAI érték növelő hatása $+0,509 m^2/m^2$ volt.

A műtrágya-kezelés LAI értékekre gyakorolt hatásának vizsgálata során azt tapasztaltuk, hogy a tavaszi alaptrágyázás során kijuttatott növekvő dózisu műtrágya adagok (A_0, A_{60}, A_{120}) - a hibridek és fenológiai fázisok átlagában - öntözött és nem öntözött körülmények között is növelték a levél felület index értékeit (3. ábra). Öntözött körülmények között a legnagyobb LAI értéket ($2,632 \pm 0,900 m^2/m^2$) a V_{6150} kezelésben mértük, azonban a legnagyobb

statisztikai különbséget az A₁₂₀ kezelésben ($2,620 \pm 0,928 \text{ m}^2/\text{m}^2$) igazoltuk ($p < 0,05$). Nem öntözött körülmények között az A₁₂₀ kezelésben volt a legnagyobb levél felület index ($1,702 \pm 0,622 \text{ m}^2/\text{m}^2$), melyet statisztikailag is igazoltunk.

2. ábra. Az öntözés hatása a kukorica LAI értékeire
(Látókép, 2022)

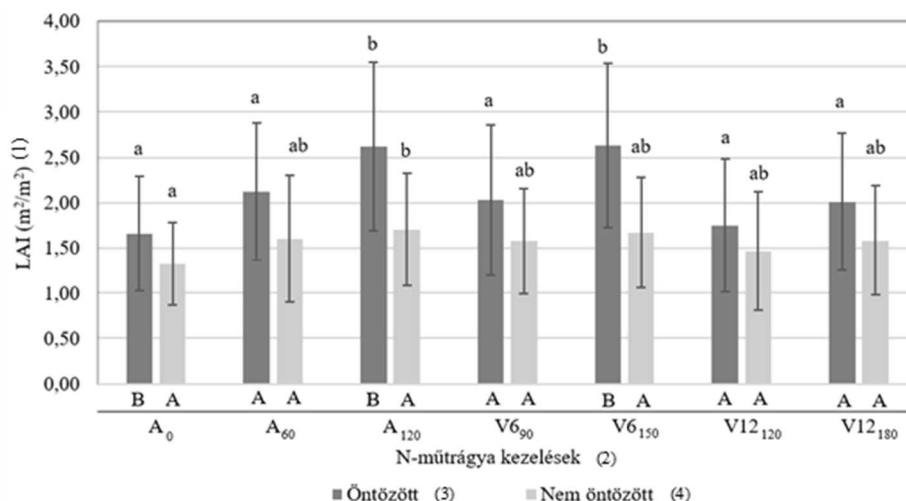


Megjegyzés: n=216. A különböző betűvel jelzett értékek $p < 0,05$ valószínűségi szinteken szignifikánsan különböznek egymástól a t-próba alapján.

Figure 2. Effect of irrigation on LAI values in maize (Látókép, 2022). (1) LAI (m^2/m^2), (2) Irrigated, (3) Non-irrigated, Note: n=216. The values marked with different letters are significantly different from each other at $p < 0,05$ probability levels, based on the t-test.

A V₆ fenológiai fázisban kijuttatott +30 kg N/ha fejtrágya hatására csak a V₆₁₅₀ kezelésben, öntözött körülmények között mért LAI érték növekedett ($+0,012 \text{ m}^2/\text{m}^2$), amely növekedés szignifikánsan nem igazolt. A V₁₂ növekedési szakaszban kijuttatott további +30 kg N/ha fejtrágya hatásának vizsgálata során csökkenést igazoltunk a LAI értékekben, mind az öntözött, mind a nem öntözött változatban. Az A₀, A₁₂₀ és V₆₁₅₀ műtrágya-kezelések esetében a t-próba alapján statisztikailag igazolható LAI érték növelő hatása volt az öntözésnek ($p < 0,05$).

3. ábra. Az N-műtrágya kezelések és az öntözés hatása a kukorica LAI értékeire
(Látókép, 2022)



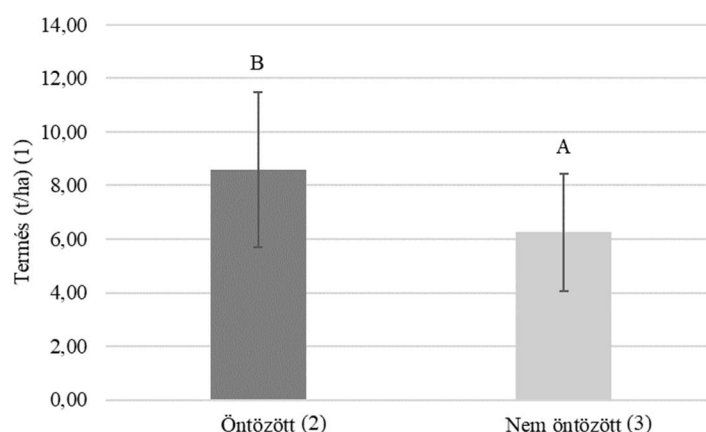
Megjegyzés: n=24. A különböző kisbetűvel jelzett értékek öntözött és nem öntözött körülmények között az eltérő műtrágya-kezelések esetében p<0,05 valószínűségi szinteken szignifikánsan különböznek egymástól a Duncan-teszt alapján. Az öntözés műtrágya-kezeléseken belüli hatásának vizsgálata során a különböző nagybetűvel jelzett értékek a t-próba alapján szignifikánsan eltérnek (p<0,05).

Figure 3. Effect of N-fertiliser treatments and irrigation on LAI values in maize (Látókép, 2022). (1) LAI (m²/m²), (2) N fertiliser treatments, (3) Irrigated, (4) Non-irrigated, Note: n=24. The different lower case values for irrigated and non-irrigated conditions for different fertiliser treatments are significantly different at p<0.05 probability levels using Duncan's test. When examining the effect of irrigation within fertiliser treatments, the different upper case values are significantly different (p<0.05) using the t-test.

Az N-műtrágyázás és öntözés hatása a kukorica terméseredményére

Az agrotechnikai tényezők közül az öntözésnek jelentős, statisztikailag is igazolható hatása volt a kukorica termésére a hibridek és műtrágya-kezelések átlagában (4. ábra) (p<0,05). A t-próba alapján két homogén csoportot igazoltunk, öntözött körülmények között 8,581±2,899 t/ha, nem öntözött körülmények között 6,256±2,193 t/ha volt a termés. Az öntözés hatására a termés +2,325 t/ha-ral növekedett.

4. ábra. Az öntözés hatása a kukorica termésereedményére
(Látókép, 2022)

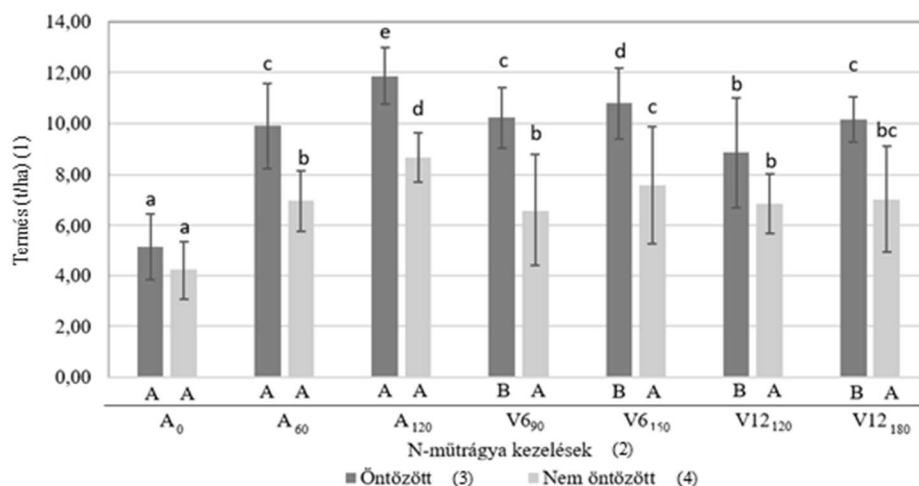


Megjegyzés: n=54 A különböző betűvel jelzett értékek $p < 0,05$ valószínűségi szinteken szignifikánsan különböznek egymástól a t-próba alapján.

Figure 4. Effect of irrigation on maize yield (Látókép, 2022). (1) Yield (t/ha), (2) Irrigated, (3) Non-irrigated, Note: n=54 The values marked with different letters are significantly different from each other at $p < 0.05$ probability levels, based on the t-test.

Öntözött körülmények között az A_{60} kezelés 4,754 t/ha (+92,3%), az A_{120} kezelés 6,715 t/ha (+130,4%) termésmnövekedést eredményezett a műtrágyázás nélküli (A_0 , 5,149 t/ha) kezeléshez képest, amely szignifikánsan igazolt ($p < 0,05$) (5. ábra) Az A_{120} kezelés hatására 1,960 t/ha-ral (+19,8%) növekedett a termés az A_{60} kezeléshez képest ($p < 0,05$). A V6 fenofázisban kijuttatott +30 kg/ha nitrogén fejtrágya csak az alacsonyabb dózisú alaptrágyázás (V_{690}) termésereedményét ($9,903 \pm 1,671$ t/ha) tudta növelni +0,317 t/ha-ral, mely növekedés nem szignifikáns. A V12 növekedési szakaszban kijuttatott fejtrágyakezelések nem eredményeztek pozitív változást a termésben. A statisztikailag is igazolt ($p < 0,05$) legnagyobb termést ($11,863 \pm 1,104$ t/ha) öntözött körülmények között az A_{120} műtrágyakezelés adta. Egyezően Széles et al. (2024) eredményeivel igazolódott, hogy a kijuttatott öntözővíz mennyisége nem volt elegendő a fejtrágyakezelések érvényesüléséhez ebben az extrém száraz 2022. évben.

5. ábra. Az N-műtrágya-kezelések és az öntözés hatása a terméseredményre
(Látókép, 2022)



Megjegyzés: n=6. A különböző kisbetűvel jelzett értékek öntözött és nem öntözött körülmények között az eltérő műtrágya-kezelések esetében $p < 0,05$ valószínűségi szinteken szignifikánsan különböznek egymástól a Duncan-teszt alapján. Az öntözés műtrágya-kezeléseken belüli hatásának vizsgálata során a különböző nagybetűvel jelzett értékek a t-próba alapján szignifikánsan eltérnek ($p < 0,05$).

Figure 5. Effect of N fertilizer treatments and irrigation on yield (Látókép, 2022). (1) Yield (t/ha), (2) N fertilizer treatments, (3) Irrigated, (4) Non-irrigated, Megjegyzés: n=6. The different lower case values under irrigated and non-irrigated conditions for different fertilizer treatments are significantly different at $p < 0.05$ probability levels using Duncan's test. When examining the effect of irrigation within fertilizer treatments, the different upper case values are significantly different ($p < 0.05$) using t-test.

A nem öntözött változatban az A₀ kezeléshez képest (4,222 t/ha) a tavasszal kijuttatott 60 kg/ha nitrogén alaptrágyázás (A₆₀) 2,732 t/ha-ral (+64,7%), míg a 120 kg/ha műtrágyadózis (A₁₂₀) 4,428 t/ha-ral (+104,9%) eredményezett nagyobb termést ($p < 0,05$). A nagyobb alaptrágyadózis 1,695 t/ha (+24,4%) termésnövekedést adott az A₆₀ kezeléshez képest. A legnagyobb termést ($8,649 \pm 0,971$ t/ha) az A₁₂₀ kezelés adta, amely érték szignifikáns ($p < 0,05$). Nem öntözött körülmények között a fejtrágyakezelések Széles *et al.* (2024) eredményeihez hasonlóan, nem okoztak termésnövekedést az alaptrágyázott kezelésekben mért értékekhez képest.

Az A₀, A₆₀, valamint az A₁₂₀ műtrágya kezelések kivételével statisztikailag igazolható ($p < 0,05$) hatása volt az öntözésnek a t-próba alapján. A V₆₁₅₀ kezelésben volt az öntözésnek a legnagyobb (+55,2%) termésmenvelő hatása.

A levél felület index és a termésmennyiség összefüggésvizsgálata

Összefüggésvizsgálatot végeztünk a LAI és a kukorica termésmennyisége között (2. táblázat). A tenyészidőszak előre haladtával a LAI és termés között öntözött és nem öntözött körülmények között eltérő mértékű összefüggést mutattunk ki. Öntözött körülmények között a VT ($r=0,753^{***}$) fenofázisban mért LAI értékek voltak a legnagyobb hatással a termés alakulására. Nem öntözött körülmények között a Vn ($r=0,602^{***}$) fenológiai szakaszban mutattuk ki a legszorosabb korrelációt.

2. táblázat. A LAI és termésmennyiség összefüggésvizsgálata
(Látókép, 2022)

		Fenológiai szakaszok (1)			
		V8	V10	V12	Vn
Öntözött (2)	r	0,373	0,383	0,605	0,645
	R ²	0,139 ^{nsz}	0,147*	0,365 ^{***}	0,417 ^{***}
Nem öntözött (3)	r	0,162	0,074	0,270	0,602
	R ²	0,026 ^{nsz}	0,005 ^{nsz}	0,073 ^{nsz}	0,362 ^{***}
		VT	R1	R3	R6
Öntözött (2)	r	0,753	0,574	0,742	0,750
	R ²	0,567 ^{***}	0,329 ^{**}	0,551 ^{***}	0,562 ^{***}
Nem öntözött (3)	r	0,561	0,338	0,505	0,232
	R ²	0,314 ^{**}	0,114 ^{nsz}	0,255 ^{**}	0,054 ^{nsz}

Megjegyzés: ^{***}p=0,1%, ^{**}p=1%, nsz=nem szignifikáns.

Table 2. Correlation analysis of LAI and yield (Látókép, 2022). (1) Phenophases, (2) Irrigated, (3) Non-irrigated, Note: ^{***}p=0.1%, ^{**}p=1%, nsz=not significant.

Következtetések

A Duncan teszt alapján statisztikailag is igazolt ($p < 0,05$) legkisebb levél felület indexeket a V8 fenofázisban mértük mind az öntözött, mind a nem öntözött változatban. A legnagyobb értékeket ($3,074 \pm 0,595 \text{ m}^2/\text{m}^2$; $2,495 \pm 0,324 \text{ m}^2/\text{m}^2$) a virágzás időszakában igazoltuk. Az összefüggésvizsgálat is ebben a termésképzés szempontjából kritikus időszakban mutatta ki a legszorosabb összefüggést (öntözött: VT, $r = 0,753^{***}$; nem öntözött: Vn, $r = 0,602^{***}$). Mindegyik fenológiai fázisban az öntözésnek LAI érték növelő hatása volt. A legnagyobb mértékben ($+0,850 \text{ m}^2/\text{m}^2$) az R1 fenológiai fázisban növekedett a LAI az öntözés hatására.

Az öntözés statisztikailag is igazolható ($p < 0,05$) LAI növelő hatása $+0,509 \text{ m}^2/\text{m}^2$, termés növelő hatása pedig $+2,325 \text{ t/ha}$ volt a hibridek és műtrágyakezelések átlagában.

Öntözött körülmények között a statisztikailag is igazolt legnagyobb LAI értéket az A_{120} kezelésben ($2,620 \pm 0,928 \text{ m}^2/\text{m}^2$) igazoltuk ($p < 0,05$). Nem öntözött körülmények között szintén az A_{120} kezelésben volt a legnagyobb levél felület index ($1,702 \pm 0,622 \text{ m}^2/\text{m}^2$; $p < 0,05$). A legnagyobb termés mindkét öntözési változatban az A_{120} kezelésben volt (öntözött: $11,863 \pm 1,104 \text{ t/ha}$; nem öntözött: $8,649 \pm 0,971 \text{ t/ha}$). Az alaptrágyázás során kijuttatott 120 kg/ha nitrogén tápanyag hatására öntözött körülmények között $1,960 \text{ t/ha}$ -ral, nem öntözött körülmények között $1,695 \text{ t/ha}$ -ral lett több a kukorica termése a 60 kg/ha nitrogén alaptrágyával kezelt kultúrához viszonyítva. Figyelembe véve a terményárakat, inputköltségeket, fenntarthatósági és környezetvédelmi szempontokat, a gazdálkodóknak mérlegelniük kell, hogy egy nagyobb nitrogéndózis kijuttatása eredményez-e termésnövekedést, és ha igen mennyit. A levél felület index megbízhatóan alkalmazható mutatószám a kukorica tápanyag-ellátottságának megítélése, egészségi állapotának, fejlődésének vizsgálatára, a termés várható mennyiségének előrejelzésére, azonban pontosabb értékek meghatározásához egyéb precíziós eszközök egyidejű használatára lehet szükség.

Köszönetnyilvánítás

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

Bolyai János Kutatási Ösztöndíj (BO/00068/23/4) támogatásával készült. Megvalósult a Debreceni Egyetem Publikációs Tudománytámogatási Programjának támogatásával.

IRODALOM

- Adalibieke, W.-Cui, X.-Cai, H.-You, L.-Zhou, F.:* 2023, Global crop-specific nitrogen fertilization dataset in 1961–2020. *Sci. Data.* 10: 617.
- Berzsenyi, Z.:* 2009. Studies on the effect of N fertilisation on the growth of maize (*Zea mays* L.) hibrids II. Plant growth analysis and growth parameters. *Acta Agronomica Hungarica.* 57. 3: 267–276.
- Buschmann, C.-Nagel, E.:* 1993. In vivo spectroscopy and internal optics of leaves as basis for remote sensing of vegetation. *International Journal of Remote Sensing.* 14: 711–722.
- Csajbók J.-Kutasy E.:* 2002. A kukorica fotoszintetikus aktivitása. [In: Láng et al. (szerk.) I. Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés.] Nemzetközi Konferencia. Debreceni Egyetem ATC. Debrecen. 302–308.
- Du, L.-Li, Q.-Li, L.-Wu, Y.-Zhou, F.-Liu, B.-Zhao, B.-Li, X.-Liu, Q.-Kong, F.-Juan, J.:* 2020. Construction of a critical nitrogen dilution curve for maize in Southwest China. *Scientific Reports.* 10. 1. 13084: 1–0.
- Erenstein, O.-Jeleta, M.-Sonder, K.-Mottaleb, K.-Prasanna, P. M.:* 2022. Global maize production, consumption and trade: Trends and R&D implications. *Food Security.* 14. 5: 1295–1319.
- FAO:* 2022. FAOSTAT. „Crops and livestock products”. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>
- Gaj, R.-Szulc, P.-Siatkowski, I.-Waligóra, H.:* 2020. Assessment of the effect of the mineral fertilization system on the nutritional status of maize plants and grain yield prediction. *Agriculture.* 10. 404: 1–14.
- Gombos B.-Nagy J.:* 2023. A 2022-es rendkívüli aszály agrometeorológiai jellemzői Debrecen-Látóképen. *Növénytermelés.* 72. 1: 5–18.
- Haghighi, B. J.-Yarmahmodi, Z.-Alizadeh, O.:* 2010. Evaluation the effects of biological fertilizer on physiological characteristic and yield and its components of corn (*Zea mays* L.) under drought stress. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences.* 5: 189–193.
- Hammad, H. M.-Ahmad, A. A.-Wajid, A.-Akhter, J.:* 2011. Maize response to time and rate of nitrogen application. *Pakistan Journal of Botany.* 43: 1935–1942.
- Horváth, É.-Tamás, A.-Fejér, P.-Széles, A.:* 2021. Effect of different N doses on maize yield and quality. *Acta Agraria Debreceniensis.* 1: 97–101.

- Hou, P.-Liu, Y.-Liu W.-Liu, G.-Xie, R.-Wang, K.-Ming, B.-Wang, Y.-Zhao, R.-Zhang W.-Wang Y.-Bian, S.-Ren, H.-Zhao, X.-Liu, P.-Chang, J.-Zhang, G.-Liu, J.-Yuan, L.-Zhao, H.-Shi, L.-Zhang, L.-Yu, L.-Gao, J. L.-Yu, X.-Shen L.-Yang S.-Zhang, Z.-Xue, J.-Ma, X.-Wang, X.-Lu, T.-Dong, B.-Li, G.-Ma, B.-Li, J.-Deng, X.-Liu, Y.-Yang, Q.-Fu, H.-Liu, X.-Chen, X.-Huang, C.-Li, S.: 2020. How to increase maize production without extra nitrogen input. Resources, Conservation Recycling. 160. 104913: 1-9.
- Jin, H.-Li, A.-Wang, J.-Bo, Y.: 2016. Improvement of spatially and temporally continuous crop leaf area index by integration of CERES-Maize model and MODIS data. European Journal of Agronomy. 78: 1-12.
- Li, G.-Zhao, B.-Dong, S.-Zhang, J.-Liu, P.-Lu, W.: 2020. Controlled-release urea combining with optimal irrigation improved grain yield, nitrogen uptake, and growth of maize. Agricultural Water Management. 227. 105834: 1-13.
- Listman, M.-Ordóñez, R.: 2019. Ten things you should know about maize and wheat. International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT). www.cimmyt.org/news/ten-things-you-should-know-about-maize-and-wheat/
- Mester T.-Cavalli D.-Balla D.-Szabó G.: 2020. A talaj fixált ammónium-ion tartalmának hatása a talajvíz tisztulási folyamataira a szennyezőforrás felszámolását követően települési környezetben. Agrokémia és Talajtan. 69. 1-2: 55-71.
- Mousavi, S. M. N.-Illés, Á.-Bojtor, C.-Nagy, J.: 2020. The impact of different nutritional treatments on maize hybrids morphological traits based on stability statistical methods. Emirates Journal of Food and Agriculture. 32. 9: 666-672.
- Nagy, J.: 2008. Maize production: Food, bioenergy, forage. Akadémiai Kiadó. Budapest. 391.
- Nagy J.: 2021. Kukorica. Szaktudás Kiadó. Budapest. 516.
- Nagy J.-Zelenák A.-Illés Á.-Bojtor Cs.-Gombos B.-Szabó A.-Nyéki A.-Széles A.: 2023. Eltérő FAO számú kukorica (*Zea mays* L.) hibridek termésszámjainak elemzése öntözött állományban. Növénytermelés. 72. 1: 69-84.
- Omar, S.-Abd Ghani, R.-Khaeim, H.-Sghaier, A. H.-Jolánkai, M.: 2022. The effect of nitrogen fertilisation on yield and quality of maize (*Zea mays* L.). Acta Alimentaria. 51. 2: 249-258.
- Pokovai, K.-Fodor, N.: 2019. Adjusting ceptometer data to improve leaf area index measurements. Agronomy. 9: 866.
- Rácz, D.-Szóke, L.-Tóth, B.-Kovács, B.-Horváth, É.-Zagyai, 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. 2426: 1-19.

- Rhezali, A.–Aissaoui, A.E.: 2021. Feasibility Study of Using Absolute SPAD Values for Standardized Evaluation of Corn Nitrogen Status. *Nitrogen*. 2021. 2: 298–307.
- Sucunza, F. A.–Gutierrez-Boem, F. H.–Garcia, F. O.–Boxler, M.: 2018. Long-term phosphorus fertilization of wheat, soybean and maize on Molisols: Soil test trends, critical levels and balances. *European Journal of Agronomy*. 96: 87–95.
- Szabó, A.–Széles, A.–Illés, Á.–Bojtor, C.–Mousavi, S. M. N.–Radócz, L.–Nagy, J.: 2022a. Effect of different nitrogen supply on maize emergence dynamics, evaluation of yield parameters of different híbrids in long-term field experiments. *Agronomy*. 12. 284: 1–13.
- Szabó, A.–Mousavi, S.–Bojtor, C.–Ragán, P.–Nagy, J.–Vad, A.–Illés, Á.: 2022b. Analysis of Nutrient-Specific Response of Maize Híbrids in Relation to Leaf Area Index (LAI) and Remote Sensing. *Plants-Basel*. 11. 9: 1–14.
- Széles, A.–Harsányi, E.–Kith, K.–Nagy, J.: 2018. The effect of fertilisation and weather extremities caused by climate change on maize (*Zea mays* L.) yield in Hungary. *Journal of Agriculture Food and Development*. 4: 1–9.
- Széles, A.–Kovács, K.–Ferencsik, S.: 2019a. The effect of crop years and nitrogen basal and top dressing on the yield of different maize genotypes and marginal revenue. *Quarterly Journal of the Hungarian Meteorological Service*. 123. 3: 265–278.
- Széles, A.–Nagy, J.–Rátonyi, T.–Harsányi, E.: 2019b. Effect of differential fertilisation treatments on maize hybrid quality and performance under environmental stress condition in Hungary. *Maydica*. 64. 2: 1–14.
- Széles, A.–Horváth, É.–Simon, K.–Zagy, P.: 2023a. Az öntözés és az alap- és fejtrágyázás hatása a kukorica híbridek klorofill-koncentrációjára és termésére extrém száraz évben. *Növénytermelés*. 72. 3: 7–30.
- Széles, A.–Horváth, É.–Simon, K.–Zagy, P.–Huzsvai, L.: 2023b. Maize Production under Drought Stress: Nutrient Supply, Yield Prediction. *Plants*. 12. 3301: 1–17.
- Széles, A.–Huzsvai, L.–Mohammed, S.–Nyéki, A.–Zagy, P.–Horváth, É.–Simon, K.–Arshad, S.–Tamás, A.: 2024. Precision agricultural technology for advanced monitoring of maize yield under different fertilization and irrigation regimes: a case study in Eastern Hungary (Debrecen). *Journal of Agriculture and Food Research*. 15. 100967: 1–16.
- Tamás A.–Radócz L.–Horváth É.–Zagy P.–Ragán P.: 2022. A termesztéstechnológiai tényezők hatása a kukorica (*Zea mays* L.) terméseredményeire polifaktoriális tartamkísérletben. *Növénytermelés*. 71. 1: 67–80.

- Tian, L.-Li, J.-Bi, W.-Zuo, S.-Li, L.-Li, W.-Sun, L.:* 2019. Effects of waterlogging stress at different growth stages on the photosynthetic characteristics and grain yield of spring maize (*Zea mays* L.) under field conditions. *Agricultural Water Management*. 2018. 1: 250–258.
- Ványiné Széles, A.-Megyes A.-Nagy J.:* 2012. Irrigation and nitrogen effects on the leaf chlorophyll content and grain yield of maize in different crop years. *Agricultural Water Management*. 107: 133–144.
- Wang, X.-Müller, C.-Elliot, J.:* 2021. Global irrigation contribution to wheat and maize yield. *Nat. Commun.* 12: 1235. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-21498-5>
- Zelenák, A.-Szabó, A.-Nagy, J.-Nyéki, A.:* 2022 Using the CERES-Maize Model to Simulate Crop Yield in a Long-Term Field Experiment in Hungary. *Agronomy-Basel*. 12. 4: 1-16. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040785>

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

*Zagyai Péter – Dr. Horváth Éva – Dr. Tamás András – Simon Károly – Dr. Széles Adrienn
Debreceni Egyetem MÉK
Földhasznosítás, Műszaki és Precíziós Technológiai Intézet
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*zagyi.peter@agr.unideb.hu