

**Az aszálystressz csökkentésének lehetőségei  
különböző levélkezelésekkel a 2024-es és 2025-ös tenyészévekben  
burgonyában (*Solanum tuberosum*)**

KÁVÁSSY GERGELY – SZABÓ ANDRÁS – SZABÓ ÉVA

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytermesztési, Nemesítési és Növénytechnológiai Intézet, Debrecen

**Összefoglaló**

A klímaváltozás hatására növekvő aszály jelentős kihívást jelent a burgonyatermesztés számára. Sonkádön (Magyarország) végzett kísérletünkben két tenyészévben különböző levélkezeléseket és öntözési sémákat vizsgáltunk véletlen blokk elrendezésben, Manitou fajtán. A kísérlet során három öntözési dózist (teljes, 50%, száraz kontroll) és az öntözési sémák mellett négy levélkezelés került alkalmazásra: szalicilsavas, hidrogén-peroxid szilícium, mikroelem- ezeket kizárólag csak az öntözetlen parcellákon alkalmaztuk. Összesen hét különböző kezelést hajtottunk végre négy ismétlésben. A két tenyészév eredményei alapján a szilícium, hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav levélkezelések szignifikánsan növelték a relatív klorofill-tartalmat (SPAD) a kontrollhoz és az öntözött kezelésekhez képest. Két év átlagában az NDVI értéket a szilícium, hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav levélkezelések szignifikánsan növelték a kontrollhoz képest, valamint nem mutatkozott a teljes dózismennyiséggel öntözött és a felsorolt kezelések teljesítményében statisztikai különbség. A különböző mérési időpontokban végzett NDVI mérések adatai igazolták, hogy a vizsgált anyagokkal végzett kezelések képesek voltak lassítani a klorofill lebomlását és fenntartani a fotoszintetikus apparátus integritását a kritikus, virágzás utáni időszakban is. A levélterület-index esetében a legnagyobb értéket a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés mutatta, ám szignifikáns különbség nem mutatkozott a szilícium, hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav kezelések teljesítményéhez képest. Ugyanakkor a legfontosabb mutató a terméshozam tekintetében mindkét évben elsősorban az öntözés befolyásolta azt szignifikánsan. A levélkezelések bár mitigálták a stresszt, javították a növények

vitalitását, statisztikailag igazolható terméstöbbletet nem eredményeztek a kezeletlen kontrollhoz viszonyítva.

**Kulcsszavak:** burgonya, aszály, levélkezelések, szalicilsav, hidrogén-peroxid, szilícium, mikroelemek

### **Possibilities of reducing drought stress through various foliar treatments in potato (*Solanum tuberosum*) during the 2024 and 2025 growing seasons**

G. KÁVÁSSY – A. SZABÓ – É. SZABÓ

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

Institute of Crop Production, Breeding and Crop Technology, Debrecen

#### **Summary**

Increasing drought caused by climate change poses a significant challenge to potato production. In our experiment conducted in Sonkád (Hungary), different leaf treatments and irrigation regimens were tested over two growing seasons in a randomized block design using the Manitou variety. During the experiment, three irrigation rates (full, 50%, and dry control) were used, along with four foliar treatments – salicylic acid, hydrogen peroxide, silicon, and micronutrients – which were applied exclusively to the non-irrigated plots. A total of seven different treatments were carried out in four replicates. Based on the results from the two growing seasons, the silicon, hydrogen peroxide, microcomplex, and salicylic acid foliar treatments significantly increased the relative chlorophyll content (SPAD) compared to the control and the irrigated treatments. On average over the two years, the NDVI value was significantly increased by the silicon, hydrogen peroxide, microcomplex, and salicylic acid foliar treatments compared to the control, and no statistical difference was observed in performance between the full-dose irrigation treatment and the listed treatments. NDVI measurements taken at various time points confirmed that treatments with the tested substances were able to slow chlorophyll degradation and maintain the integrity of the photosynthetic apparatus even during the critical post-flowering period. In the case of the leaf area index, the highest

value was observed in the treatment irrigated with the full dose, but no significant difference was found compared to the performance of the silicon, hydrogen peroxide, microcomplex, and salicylic acid treatments. At the same time, the most important indicator in terms of yield was irrigation, which had a significant impact in both years. Although the foliar treatments mitigated stress and improved plant vitality, they did not result in a statistically significant increase in yield compared to the untreated control.

**Keywords:** potato, drought, foliar treatments, salicylic acid, hydrogen peroxide, silicon, micronutrients

### Bevezetés

A klímaváltozás hatására egyre gyakrabban, hosszabban és erőteljesebben jelentkező aszályos időszakok komoly nehézségek elé állítják a világ burgonyatermesztését. (Gervais et al., 2021). A burgonya számára az ideális napi átlaghőmérséklet 5 és 21 °C között van, ugyanis 5 °C napi átlaghőmérséklet alatt a hideg károsíthatja a növényt, a 21 °C feletti napi átlaghőmérséklet pedig túl meleg a burgonya számára. (Haverkort & Verhagen, 2008). A burgonya számára a hűvösebb éghajlati körülmények a leginkább kedvezőek, mert meleg környezetben kevésbé teljesít jól (Haverkort, 1990). A gyökérfejlődés már 3–4 °C hőmérsékleten megindul, míg a szár fejlődése pedig 7–8 °C hőmérsékleten indul el (Reddy et al., 2018). A vegetatív fejlődés számára 18–25 °C, a gumókötés és gumónövekedés számára pedig 4–18 °C a legoptimálisabb (Reddy et al., 2018). Az ideálisnál magasabb hőmérséklet esetén a megnövekedett fotorespiráció miatt a növekedés mértéke csökken, a szárazanyagfelhalmozódás elsősorban a levélzetben történik, a gumókban a szárazanyagfelhalmozódás nagyon alacsony szintre esik vissza (Haverkort & Verhagen, 2008). A burgonya vízigénye 500–600 mm a tenyészidőben, ebből nagyságrendileg 300–350 mm június, július hónapokban lenne ideális (Sárvári, 2022). Az aszály olyan stressz, amely egyaránt befolyásolja a növények morfológiai, élettani, ökológiai, biokémiai és molekuláris jellemzőit (Salehi-Lisar & Bakhshayeshan-Agdam, 2016). Az aszály károsan hat a burgonya mennyiségi és minőségi paramétereire (Al-Taey & Hussain, 2023). A talajban jelentkező vízhiány a gumók terméshozamának csökkenéséhez és minőségének romlásához vezet, amit a fotoszintetikus aktivitás csökkenése okoz (Van Loon,

1981). Az aszály csökkenti a terméshozamot és a levélzet száraztömegét (Lahlou et al., 2003). Az aszály hatására a levélterület, a gumószám, és a terméshozam egyaránt csökken, továbbá, a sztómák záródnak, a fotoszintézis szintje visszaesik – ezzel is csökkentve az asszimiláták felhalmozását (Rodríguez-Pérez et al., 2017; Schafleitner et al., 2007). A terméshozam és gumószám csökkenésében meghatározó az aszály hossza és erőssége, illetve nem elhanyagolható, hogy a növényt milyen fejlettségi állapotban éri a stresszhatás (Stark et al., 2013; Aliche et al., 2020; Plich et al., 2020). A vízhiány sokkal jobban sújtja a növényt, annak korai fenológiai fázisaiban. Fiatal növény esetében a szárazság negatív hatással van a levélterület méretére, ezáltal csökkentve a fotoszintézis és az asszimiláció mértékét, így degradálva a gumóképződés és a terméshozam nagyságát (Evers et al., 2010; Obidiegwu et al., 2015). Az aszály szignifikánsan csökkenti a levélterület-indexet (LAI) (Michel et al., 2019). A vízstressz erőteljes negatív hatással van a sztóló, valamint a gumóképződés stádiumában (Aliche et al., 2020). A vízhiány bezárásra készíti a sztómákat, ami következményeként szubsztrátum hiányosság jelentkezik a Calvin-ciklusban, így csökken az asszimiláció (Pinheiro & Chaves, 2011). A vízhiánnyal küzdő burgonyanövények alacsonyabb SPAD értékeket produkálnak, mint a jól, vagy közepesen öntözött növények (Mahmud et al., 2014). Az aszály a beltartalmi értékekre is negatív hatást gyakorol. A csapadékhiány csökkenti a gumók keményítőtartalmát. (Rudack et al., 2017; Ma et al., 2024). Az aszályal gyakran együtt jelentkezik a hőstressz, ami tovább súlyosbítja a vízhiány káros hatásait. A magas hőmérséklet által előidézett hőstressz csökkenti a várható terméshozamot. A magas, 30 °C-ot meghaladó hőmérséklet számtalan káros hatást gyakorol a burgonyára. Lassítja a gumók növekedését, barna foltokat okoz a gumón, illetve csökkenti a keményítő-felhalmozódás mértékét. A hőstressz negatív hatást gyakorol mind a gumók mennyiségére, mind pedig azok minőségére, mivel megnyúlást, másodlagos növekedést, deformitást és csírázást idéz elő (Rykaczewska, 2013).

#### *Az aszály csökkentésének lehetőségei*

A fentebb említett abiotikus stresszfaktor káros hatásainak kiküszöbölésére több irányból folynak kutatások. Ezek közé tartoznak az aszálytűrő genetikai vonalak létrehozása, valamint az aszály káros hatásait kiküszöbölendő különböző levélkezelések.

A szalicilsavval végzett levélkezelések pozitívan befolyásolták a fotoszintézist és klorofilltartalmat, valamint szignifikánsan fokozták az antioxidáns enzimek működését, ezáltal ellenállóbbá téve a burgonyanövényeket az aszályllyal szemben (Alhoshan & Zahedi, 2022). A vízhiány a burgonya növekedésének és produktivitásának legnagyobb gátja, a szalicilsavas permetezések csökkentik az aszály tüneteit (Acevedo et al., 2023). Szalicilsavval végzett levélkezelésekkel enyhíteni lehet az aszály növekedésre és produktivitásra gyakorolt káros hatásait (Metwaly & El-Shatoury, 2017). A szalicilsavval történő levélkezelések szignifikánsan növelték a burgonya minőségi és termésmennyiségi paramétereit (El-Areiny et al., 2019). A szalicilsavas permetezések javították a burgonyanövények víz felhasználási hatékonyságát, a növények relatív víztartalmát és az elektrolitzivárgás mértékét (Hasan et al., 2023).

A hidrogén-peroxid egyéb növények esetében képes volt fokozni az aszálytűrést. Hidrogén-peroxiddal kezelt gyökerű paradicsom (*Solanum lycopersicum*) növények esetében, a hidrogén-peroxid, mint jelző molekula funkcionált, ezzel csökkentve a párologtatást (Reis et al., 2022). Az indiai mustár palánták (*Brassica juncea* L.) hidrogén-peroxiddal történt kezelése védekező választ indított el, mely aktiválta a reaktív oxigénfajták (ROS) és a metilglioxál (MG) méregtelenítési útvonalakat, lehetővé téve az aszály által okozott oxidatív stresszel szembeni toleranciát (Hossain & Fujita, 2013). Az említett fajok modellnövényként vagy rokon fajként szolgálnak alapul a burgonyával kapcsolatos következtetésekhez. Bár közvetlenül nem az aszálytűréshez kapcsolódik, de fontos, hogy számos kutatás beszámol a hidrogén-peroxid keményítőfelhalmozásra gyakorolt pozitív hatásáról (López-Delgado et al., 2005; Moussa et al., 2012; Yaseen et al., 2014).

A szilícium jótékony hatást gyakorol a fotoszintetikus rendszer működésére, az ozmotikus regulációra, továbbá a kataláz és szuperoxid-diszmutáz antioxidáns rendszerekre, emellett csökkenti az aszály miatt stresszes állapotban lévő növények levelének víztartalmát (Pilon et al., 2014). Pilon et al. (2014) a szilícium levélen vagy gyökéren keresztül történő kezeléseinek hatását vizsgálták aszály által okozott stressz csökkentésére. Nézetük szerint a gyökéren keresztül felvett szilícium kulcsfontosságú szerepet játszik a vízhiány által okozott stressz oldásába. Ugyanakkor Pilon et al. (2014) véleménye szerint kevés információ áll a rendelkezésre azzal kapcsolatban, hogy a levélfelületen keresztül felvett szilícium hogyan befolyásolja a burgonya biokémiai és

fiziológiai mechanizmusait aszály esetén. Szilícium alapú biostimuláns hatására megnövekedett az asszimilációs felület, klorofill-a, klorofill-b és karotin mennyisége és a levelek szárazanyagtartalma (Wadas & Dębski, 2022). Korai burgonyában a szilícium levéltrágyázás hatékonyan növelte a terméshozamot aszályos körülmények között, a kezelés hatására a növények nagyobb méretű és több gumót fejlesztettek (Wadas, 2022). Szilíciumos kezelések csökkentették a növények megdőlését, növelték a gumók tömegét és a termésmennyiséget (Crusciol et al., 2009). A vízhiány burgonya minőségi és mennyiségi jellemzőire gyakorolt káros hatásai szilícium levélkezelések alkalmazásával csökkenthetőek (Seleiman et al., 2023).

Seleiman et al. (2023) megfigyelései alapján vízhiányos állapotban a cink fokozta a burgonya stressztoleranciáját és pozitív hatást gyakorolt a gumók minőségére és a terméshozamra. Cink, mangán, réz és vas elemekkel történő levélpermetezések növelik a gumók mennyiségét és minőségét. (Al-Jobori & Al-Hadithy, 2014). A cink hatékonyan fokozza az aszálytűrést. (Shoukat & Tufail, 2025.) A vízhiány számtalan káros mechanizmust indít el a növényben, melyek gátolják annak fejlődését és csökkentik termését, viszont a cinkkel végzett levélkezelések hatékony megoldást mutatnak a szárazság káros hatásainak enyhítésére és minimalizálására (Toor et al., 2020).

Az aszály – mint abiotikus – stresszfaktor növekvő mértékben okoz károkat a mezőgazdaság számára. A termelés hatékonyságának megőrzése és ezáltal generált piaci igények kielégítésére az elmúlt évtizedben a tudomány határozottan reagált. Ennek az eredményeként a vízhiány káros hatásainak ellensúlyozására a különböző anyagokkal végzett levélpermetezések stresszcsökkentő hatása került a tudományos kutatások fókuszába. A szakirodalomban fellelhető korábbi kísérletek igazolták a mikroelem, hidrogén-peroxid, szalicilsav és szilícium levélkezelések enyhítő hatását. Kutatásunk során az említett anyagok hatékonyságát vizsgáltuk olyan körülmények között, ahol jelentkezett az aszály.

Célkitűzéseink az alábbiak voltak:

- a különböző kezelések egyes növényfiziológiai paraméterekre gyakorolt hatásának értékelése;
- a kezelések termésmennyiségre gyakorolt hatásának számszerűsítése.

## Anyag és módszer

### *Kísérleti helyszín és időjárási viszonyok*

A kísérlet (Magyarország, 48° 3' 0" É, 22° 45' 0" K) Sonkád településen, került beállításra a 2024-es és 2025-ös tenyészidőszakban, hazánk Észak-Alföld régiójában, a Szatmári-síkságon, száraz-kontinentális éghajlati viszonyok között. A kísérlet agyagos-vályog talajon volt beállítva, a területen korábban intenzív zöldségtermesztés folyt.

A 2024-es év a középhőmérsékletek tekintetében mind a június, július és augusztus hónapokban meghaladta az 1990–2020 időszak átlagát, ami a burgonya számára nem optimális (1. ábra). 2024. május és június hónapokban a csapadék meghaladta az 1990–2020 évek átlagát, ám a július és augusztus hónapok az 1990–2020 közötti időszak átlagától jelentős nagyságrendekkel elmaradtak. A 2024-es kísérleti év nyara forró időjárást hozott, a július és az augusztus hónapokban pedig erőteljes vízhiány is jelentkezett.

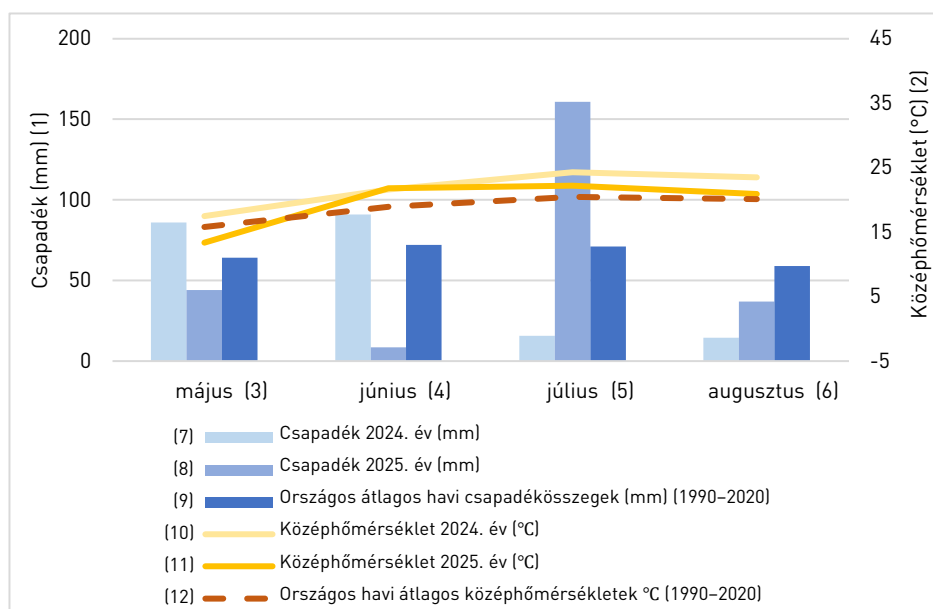
A 2025-ös tenyészév hűvösebb májussal indult, 2,4 °C-kal volt hidegebb, mint az 1990–2020 időszak átlaga, viszont a június, július és augusztus hónapok már melegebbek voltak, mint 1990–2020 között e hónapokban mért középhőmérsékletek. A 2025-ös vegetációs időszakában a május, június és augusztus hónapokban a csapadékmennyisége alul múlta a 1990–2020 évek azonos időszakra vonatkozó átlagát. Kiváltképp a június volt aszályos, ahol mindössze 8,4 mm csapadék érkezett. Július hónap első fele szintén nagyon száraz volt, egészen július 16-ig kellett várni a csapadék megérkezésére. A július hónap összességében sok csapadékot hozott, ugyanis az ekkor érkezett 160,8 mm több mint kétszeresen meghaladta a 1990–2020 évek júliusi átlagát. Mind a 2024-es, mind pedig a 2025-ös évről elmondható, hogy a Sárvári (2022) szerint vázolt 300–350 mm június-július hónapok összesített csapadékmennyiségtől jelentősen elmaradtak a mért adatok.

### *Kísérleti beállítás és tesztnövény*

A kísérlet beállításánál véletlen blokkelrendezést alkalmaztunk. Három öntözési sémát használtunk: teljes dózissal öntözött és 50% mennyiségű dózissal öntözött és öntözés nélküli kontroll. Az öntözési sémák mellett négy levélkezelés került alkalmazásra: szalicilsavas, hidrogén-peroxid szilícium, mikroelem- ezeket kizárólag csak az öntözetlen parcellákon alkalmaztuk.

Összesen hét különböző kezelést hajtottunk végre négy ismétlésben. A parcellák mérete 100 cm × 400 cm, a bakhátak közötti sortávolság 75 cm volt, a hektáronkénti tőszám 54 000 tő/ha volt.

1. ábra. A 2024. és 2025. évi vegetációs időszakokban mért csapadék- és középhőmérséklet adatai, valamint az 1990–2020 középhőmérséklet és a csapadékátlag (Sonkád, 2024, 2025)



Forrás: Met.hu (2024ab). Megjegyzés: a kísérleti helyszínrre telepített mérőállomás adatai (2024, 2025) alapján.

Figure 1. Precipitation and average temperature data measured during the growing seasons of 2024 and 2025, as well as the average temperature and precipitation for 1990–2020 (Sonkád, 2024, 2025). (1) Precipitation (mm), (2) Mean temperature (°C), (3) May, (4) June, (5) July, (6) August, (7) Precipitation in 2024 (mm), (8) Precipitation in 2025 (mm), (9) National average monthly precipitation sums (mm) (1990–2020), (10) Mean temperature 2024 (°C), (11) Mean temperature 2025 (°C), (12) National average monthly mean temperatures (°C) (1990–2020), Note: based on data from the weather station installed at the experimental site (2024, 2025), Source: Met.hu (2024ab).

A szalicilsav (SA) 99,7%-os tisztaságú volt. A 2024-es évben SA-ra 2,02 mM koncentrációjú vizes oldatban használtuk. A 2025-ös évben az SA először 70%-

os gyógyszertári minőségű alkoholban került feloldásra, majd vízzel keverve 2,02 mM koncentrációjú oldat formájában került kijuttatásra. Mindkét évben a mikroelemeket a Solvitis Mikrokomplex formájában 1 dm<sup>3</sup>/ha mennyiségben juttattuk ki. A készítmény az alábbi mikorelemeket tartalmazta: kén 8,9 m/m% SO<sub>3</sub>, réz 1,9 m/m%, mangán 1,5 m/m%, cink 2,9 m/m%, molibdén 0,04 m/m%. A Cu, Mn, Zn ligno-szulfonát komplex formájában található az oldatban. A szilícium Optysil® márkájú készítmény formájában használtuk, ami aktiválja a növények stresszhatásokkal szembeni ellenállóképességét, továbbá fokozza azok növekedését. Az Optysil 200 g SiO<sub>2</sub>-t (16,5 m/m%) és 24 g Fe-t (2 m/m%) tartalmaz 1 dm<sup>3</sup>-ben, nátrium-metaszilikát (Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>) és vas-kelát (Fe-EDTA) formájában. A kísérletünk folyamán az Optysilt a gyártó által ajánlott dózisban alkalmaztuk, ami 0,5 dm<sup>3</sup>/ha. A hidrogén-peroxidot (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) (3%-os) 1 mM-os vizes oldat formájában használtuk a kezelések során.

A 2024-es tenyészidőszakban az első kezelést a kelés utáni 30. napon hajtottuk végre, majd azt követően 21 naponként még két alkalommal. A 2025-ös évben a korábbiakhoz képest változásokat hajtottunk végre, megemeltük a kezelések gyakoriságát. Az első kezelést a kelést követő 30. napon végeztük el, majd ezt követően 5–7 naponta újabb kezelést alkalmaztunk, összesen 11 alkalommal.

A 2024-es és 2025-ös kísérletekben az öntözési dózisok azonosok maradtak, az öntözésekre 2024-ben három alkalommal, a 2025-ös kísérleti évben pedig kilenc alkalommal került sor (1. táblázat).

A kísérlethez mindkét évben egy közép-késői érésű fajtát, a Manitou-t használtuk, amely egy Desiree típusú fajta, mely vegyes felhasználásra alkalmas. A Manitou jól termesztendő a hazai klímán. A 2024-es kísérleti évben vetés előtt a talajlakó kártevők ellen Force 1,5 g készítményt dolgoztunk a talajba. Ezzel egyidőben N: 150 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 70 kg/ha és K<sub>2</sub>O: 200 kg/ha mennyiségben került kijuttatásra. A gumókat 2024. 04. 15-én ültettük el 50 cm-es sortávolság és 25 cm-es tőtávolság alkalmazásával. Az ültetéssel egy időben primer bakhátat alakítottunk ki, amelyet két héttel később másodlagos bakháttal egészítettünk ki. A kelést követően 14 nappal másodlagos bakhát kialakítás történt meg.

A 2025-ös kísérleti évben a talajelőkészítés folyamán talajfertőtlenítés céljából Force 1,5 g anyagot juttatunk ki, majd a N: 150 kg/ha, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 70 kg/ha és K<sub>2</sub>O: 200 kg/ha mennyiségben kijuttatott tápanyaggal együtt a talajba dolgoztuk.

A gumók ültetésére 2025. 04. 03-án került sor, amikor az ültetés során elsődleges bakhát kialakítására került sor. A kelés után két héttel másodlagos bakhátat készítettünk.

1. táblázat. A 2024. és 2025. tenyészévekben folytatott kísérletek öntözéseinek száma, időpontjai és a kijuttatott dózisok (Sonkád, 2024, 2025)

	2024. tenyészév (1)	2025. tenyészév (2)
Öntözési alkalmak száma (3)	3	9
Öntözési időpontok (4)	06. 18., 07. 08., 07. 16.	06. 05., 06. 15., 06. 18., 06. 21., 06. 23.* , 06. 29., 07. 03., 07. 05., 07. 26.
100% vízdózis/alkalom (5)	30 mm	30 mm
50% vízdózis/alkalom (6)	15 mm	15 mm
Összes kiadott víz (100% vízdózis) (7)	90 mm	255 mm
Összes kiadott víz (50% vízdózis) (8)	45 mm	135 mm

Megjegyzés: \* életben tartó öntözés az egész állományban 15 mm.

*Table 1.* The number of irrigation instances, their dates, and the doses applied in the experiments conducted during the 2024 and 2025 growing seasons (Sonkád, 2024, 2025). (1) 2024 growing season, (2) 2025 growing season, (3) Number of irrigation instances, (4) Irrigation dates, (5) 100% irrigation dose per instance, (6) 50% irrigation dose per instance, (7) Total applied irrigation (100% dose), (8) Total applied irrigation (50% dose), Note: \* 15 mm irrigation to maintain the entire crop stand.

#### *Mért paraméterek, méréstechnika*

A 2024-es és a 2025-ös évben Az alábbi paramétereket mértük: relatív klorofilltartalom SPAD érték formájában Konica Minolta SPAD-502 Plus, NDVI érték GreenSeeker Handheld Crop Sensor, a levélterület index, meghatározása LAI 2200C SS1 SunScanplant canopy analysis system alkalmazásával történt. A mérések esetében az alábbi metodikát alkalmaztuk: három fenológiai fázisban – virágzás előtt, teljes virágzásban és virágzás után. Minden egyes felvételezési időpontban parcellánként 10 db SPAD mérés átlagát használtuk. Négy különböző helyen mértünk levélterület indexet parcellán belül, ezen értékek átlagát vettük. Parcellánként 20 db NDVI mérést végeztünk, az így kapott 20 érték átlagával dolgoztunk. A betakarítást követően a gumók tömegét minden

parcellán lemértük, valamint parcellánként megszámláltuk a gumószámot, illetve méret szerint osztályoztuk, hogy mennyi a piacos gumók száma.

#### *Adatelemzés módszertana: statisztikai adatelemzés*

A statisztikai műveleteket R statisztikai programmal RStudio grafikus felülettel „gplots” és „agricolae” csomagok használatával végeztük. Az ábrákat Ms Excel Verzió:2506 program segítségével készítettük. Statisztikai módszerek: A kezelések közötti szignifikáns különbségek megállapítására egytényezős ANOVA-t (varianciaanalízist) LSD post-hoc teszttel, a két időpont közötti eltérések kimutatására ismételt mérési modellt, valamint Pearson-féle korrelációt és multilinéáris regressziót alkalmaztunk. Az eredményeket  $p \leq 0,05$  szignifikanciaszinten értékeltük.

### **Eredmények és értékelés**

A kezelések hatása a növényfiziológiai mutatókra és termés hozam értékekre a 2024-es és a 2025-ös években

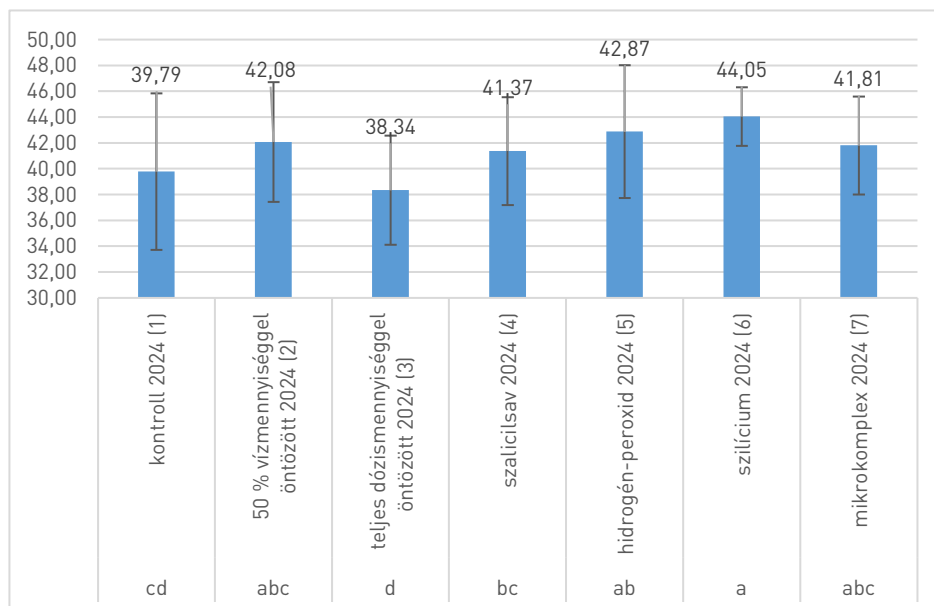
#### *Relatív klorofilltartalom (SPAD)*

A 2024-es évben a legmagasabb SPAD értéket a szilícium kezelés hozta (2. ábra). A hidrogén-peroxid és a szilíciumkezelések szignifikánsan magasabb értéket eredményeztek, mint a kontroll. Az 50% vízmennyiséggel öntözött, valamint a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelések a kontrolltól szignifikánsan nem térnek el. Ugyanakkor az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés szignifikánsan magasabb SPAD értéket produkált, mint a teljes dózismennyiséggel öntözött. A szalicilsav és a mikrokomplex kezelések és a kontroll között szignifikáns különbség nem mutatkozott. A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés minden egyéb kezeléssel összevetve szignifikánsan alacsonyabb számokat mutatott.

A szilícium teljesítményének hátterében állhat, hogy vízstressz idején végrehajtott szilícium levélkezelések elősegítik a fotoszintetikus pigmentek - klorofill-a, klorofill-b és karotinoid-tartalom - fenntartását. Lobato et al. (2009). Chen et al. (2011) kutatásai alapján a szilícium képes enyhíteni az aszály fotokémiai reakciókra gyakorolt káros hatásait. A hidrogén-peroxid mint biokémiai indukátor elősegíti azon génexpressziós folyamatokat, amelyek a klorofill-a és -b szintéziséhez szükségesek, különösképpen stressz hatása (pl.

aszály) alatt (Barzotto et al., 2023). Az eredmények alapján a teljes dózismennyiséggel öntözött állomány szignifikánsan alacsonyabb SPAD-értékeket mutatott, ami a túlóntözés kedvezőtlen élettani hatásaival magyarázható.

2. ábra. A kezelések hatása a SPAD értékekre a 2024. tenyészévben  
(Sonkád, 2024)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

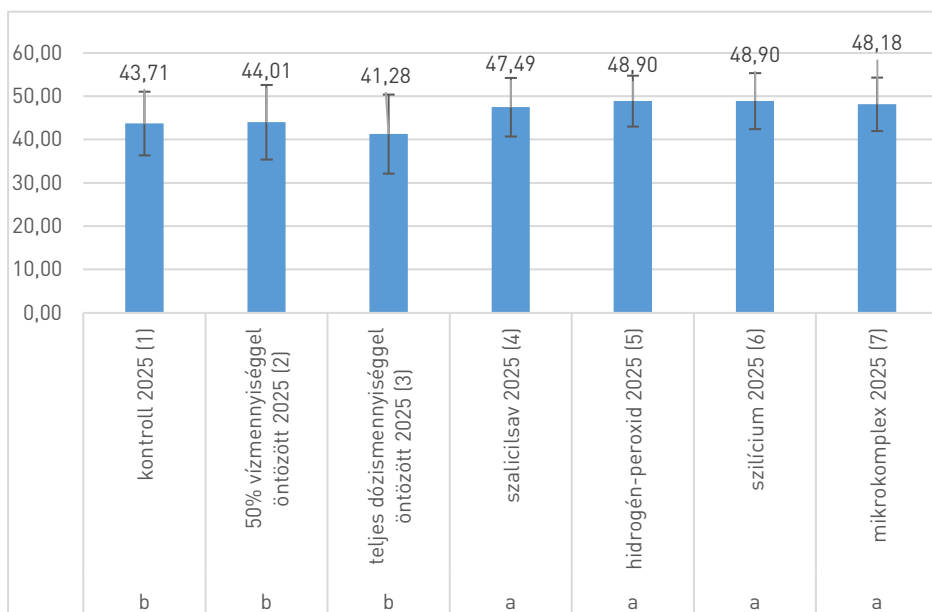
Figure 2. The effect of treatments on SPAD values in the 2024 growing season (Sonkád, 2024). (1) Control 2024, (2) Irrigated using 50% dose in 2024, (3) Irrigated with full dose in 2024, (4) Salicylic acid 2024, (5) Hydrogen peroxide 2024, (6) Silicon 2024, (7) Microcomplex 2024, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

Noha a túlóntözés homoktalajokon a nitrátkimosódást is fokozhatja (Fageria et al., 2008), a kísérlet helyszínén szolgáló közepkötött talajon ez kevésbé valószínű. Sokkal meghatározóbb tényező a talajoldat felhígulása és a tápelem-egyensúly megbomlása, amely rontja a klorofillszintézishez esszenciális mikroelemek (Mg, Fe) hozzáférhetőségét. Következésképpen a túlzott vízellátás

nem hogy nem fokozza a fotoszintetikus aktivitást, hanem degresszív módon hat a növény nitrogénstátuszára és klorofilltartalmára.

A 2025-ös tenyészévben a hidrogén-peroxid, szilícium, mikrokomplex és szalicilsav kezelések szignifikánsan magasabb SPAD értékeket produkáltak, mint a kontroll, 50%- és teljes dózismennyiséggel öntözött kezelések (3. ábra).

3. ábra. A kezelések hatása a SPAD értékekre a 2025. tenyészévben  
(Sonkád, 2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

*Figure 3.* The effect of treatments on SPAD values in the 2025 growing season (Sonkád, 2025). (1) Control 2025, (2) Irrigated using 50% dose in 2025, (3) Irrigated with full dose in 2025, (4) Salicylic acid 2025, (5) Hydrogen peroxide 2025, (6) Silicon 2025, (7) Microcomplex 2025, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

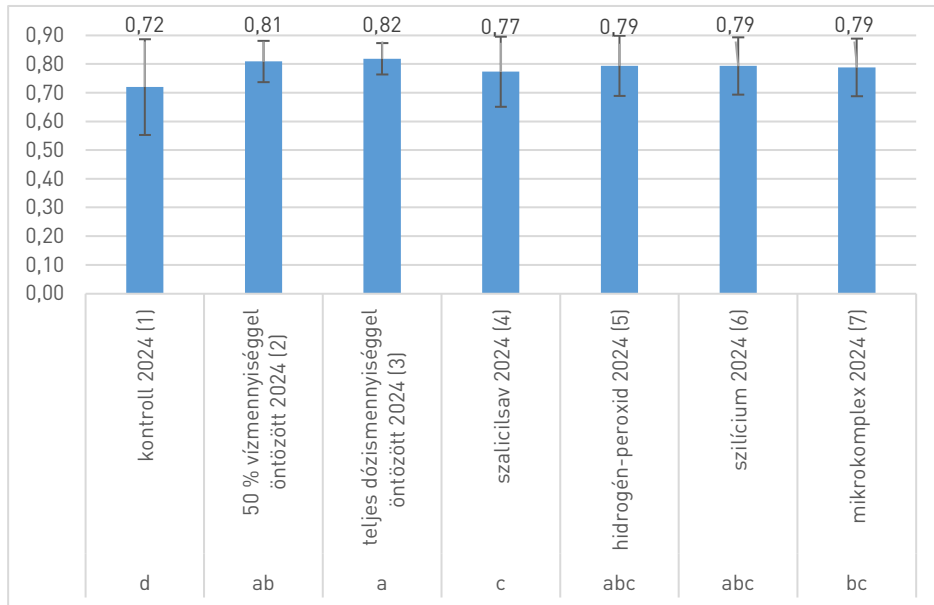
A teljes és 50% dózismennyiséggel öntözött kezelések a kontroll kezeléssel azonos szignifikancia csoportban vannak. A szilícium teljesítményét az indokolhatja, hogy beépül a sejtfalakba, valamint növeli az antioxidáns enzimek aktivitását. Guntzer et al. (2012) kutatása bizonyította, hogy a szilíciumkezelés stresszhatás alatt megakadályozza a klorofill lebomlását és javítja a

fényhasznosítás hatékonyságát – a szilíciumkezelés grafikonon látható teljesítménye ezt a megfigyelést erősíti. A hidrogén-peroxid eredményét magyarázza Hossain et al. (2015) megfigyelése, miszerint az exogén alacsony-koncentrációjú hidrogén-peroxid növeli a fotoszintetikus pigmentek szintézisét, valamint védi a II. fotorendszer reakcióközpontjait. Tehát hidrogén-peroxid kezelés hatására a növény anyagcseréje és védekezési mechanizmusai magasabb szinten működnek. A szalicilsav növeli a rubisco enzim aktivitását és a klorofilltartalmat optimális és stresszkörülmények között is. Segít fenntartani a sztóma vezetőképességét, ami közvetve támogatja a SPAD-értékek stabilitását (Khan et al., 2015). A mikrokomplex kezelés során tapasztalt magasabb SPAD-érték összhangban van Marschner (2012) megállapításaival, miszerint a kiegyensúlyozott mikroelem-ellátás elengedhetetlen a klorofill-szintézis enzimatisz folyamatokhoz. Az eredmények igazolják, hogy a mikroelemek kofaktorként való jelenléte stabilizálja a fotoszintetikus apparátust, megelőzve a kontroll csoportnál tapasztalt pigment-degradációt (Hänsch & Mendel, 2009). Bár a kontrollal egy szignifikancia csoportban található a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés, attól némileg alacsonyabb eredményt produkált. Az adatok alapján a teljes dózisu öntözés a 2024-es évhez hasonlóan nem fokozta, hanem éppen korlátozta a klorofill-akkumulációt.

#### *Normalizált Vegetációs Index (NDVI)*

2024-es eredményeink alapján a legmagasabb NDVI-értékeket a teljes vízdózissal öntözött állományban mértük, melyet az 50%-os vízdózisu kezelés követett; mindkét öntözési szint szignifikánsan felülmúlta a kontroll értékeit (4. ábra). A szalicilsav, a szilícium, a hidrogén-peroxid és a mikrokomplex szintén a kontrollnál szignifikánsan jobb eredményeket adtak. A statisztikai elemzés kimutatta, hogy a teljes dózisu és az 50%-os öntözés, valamint a hidrogén-peroxid és a szilícium kezelése azonos szignifikanciacsoportba tartoznak. Az NDVI-értékek tekintetében tehát nem mutatkozott statisztikai különbség a legjobb eredményt produkáló öntözött kontroll és a hidrogén-peroxiddal, illetve szilíciummal kezelt parcellák között.

4. ábra. A kezelések hatása az NDVI értékekre a 2024. tenyésztésben  
(Sonkád, 2024)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

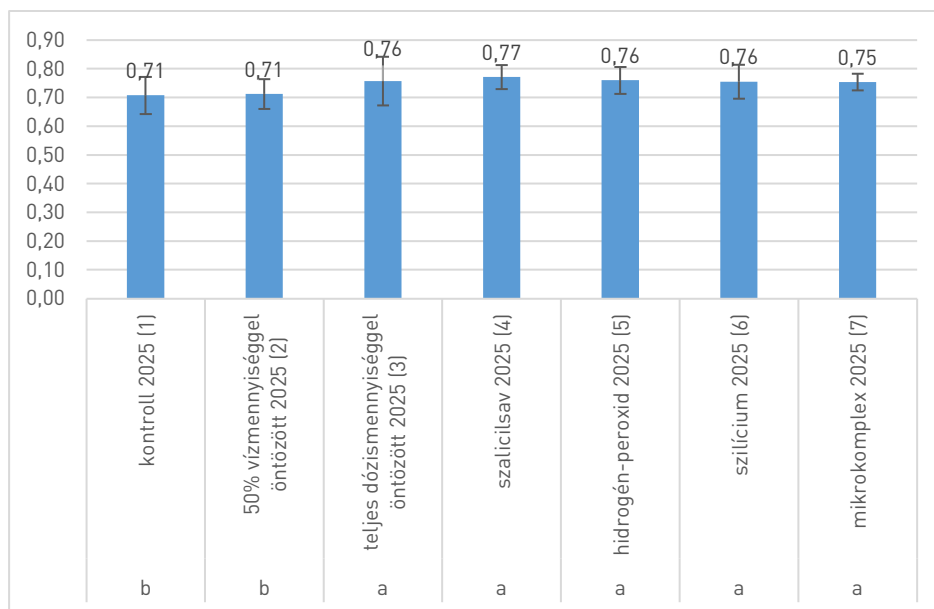
Figure 4. The effect of treatments on NDVI values in the 2024 growing season (Sonkád, 2024). (1) Control 2024, (2) Irrigated using 50% dose in 2024, (3) Irrigated with full dose in 2024, (4) Salicylic acid 2024, (5) Hydrogen peroxide 2024, (6) Silicon 2024, (7) Microcomplex 2024, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

Megállapítható, hogy a szilícium- és hidrogén-peroxid kezelések a fotoszintetikus aktivitás és az általános növényegészségügyi állapot szempontjából az öntözött állományokéval azonos szintet képviseltek.

A 2025-ös tenyészidőszakban az 50% vízmennyiség kezelés kivételével minden egyéb kezelés szignifikánsan magasabb értéket hozott, mint a kontroll (5. ábra). A szalicilsav eredménye mögött az állhat, hogy serkenti a klorofillszintézist, továbbá védi a kloroplasztiszokat az oxidatív károsodástól ezáltal közvetlenül növelve az NDVI értékeket (Sharma, 2013). A hidrogén-peroxid aktiválja az antioxidáns védőrendszereket, ezáltal védi a fotoszintetikus apparátust (Hossain et al., 2015). A szilícium a sejtekbe beépülve merevíti a levelek struktúráját, ennek következményeként levélerekción jön létre, vagyis a

levelek felfelé törekvő tartása [Epstein, 1999]. Ennek hatásaként több levélfelület vesz részt a fotoszintézisben, a levelek nem lógnak lefelé, kevésbé árnyékolják önmagukat. Minél nagyobb levélfelület vesz részt a fotoszintézisben, annál nagyobb a spektrális visszaverődés mértéke, vagyis az NDVI értéke is.

5. ábra. A kezelések hatása az NDVI értékekre a 2025. tenyészévben  
(Sonkád, 2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 5. The effect of treatments on NDVI values in the 2025 growing season (Sonkád, 2025). (1) Control 2025, (2) Irrigated using 50% dose in 2025, (3) Irrigated with full dose in 2025, (4) Salicylic acid 2025, (5) Hydrogen peroxide 2025, (6) Silicon 2025, (7) Microcomplex 2025, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

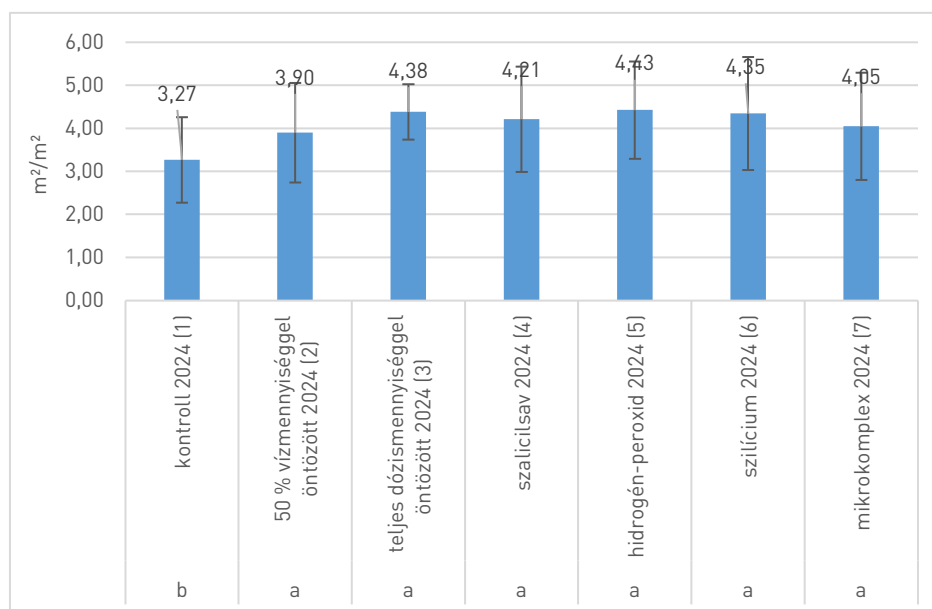
A mikroelemek [Cu, Mn, Mo, Zn] nélkülözhetetlen kofaktorai az enzimyományoknak, vagyis a mikroelemekkel végzett levélkezelések közvetlenül befolyásolják a klorofillszintézist (Marschner, 2012). Hiányukban az NDVI értékek drasztikusan zuhannak. A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés teljesítménye arra vezethető vissza, hogy a bőséges vízellátás

következtében a növényzet jól működő fotoszintetikus apparátust tudott fejleszteni, míg ez az 50% vízmennyiséggel öntözött és kontroll kezelések esetében szignifikánsan kisebb mértékben valósult meg.

#### *Levélterült-index (LAI)*

A 2024-es év mérési eredmények értelmében minden kezelés szignifikánsan magasabb értéket mutatott, mint a kontroll (6. ábra).

6. ábra. A kezelések hatása a LAI értékekre a 2024. tenyészévben  
(Sonkád, 2024)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 6. The effect of treatments on LAI values in the 2024 growing season (Sonkád, 2024). (1) Control 2024, (2) Irrigated using 50% dose in 2024, (3) Irrigated with full dose in 2024, (4) Salicylic acid 2024, (5) Hydrogen peroxide 2024, (6) Silicon 2024, (7) Microcomplex 2024, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A legmagasabb értékeket a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés során rögzítettük. Az optimális vízellátás ugyanis biztosította a zavartalan tápanyagfelvételt, ami közvetlen módon stimulálta a fotoszintetikus aktivitást és

a vegetatív szervek fejlődését, végső soron pedig a levélfelület-index (LAI) növekedését eredményezte.

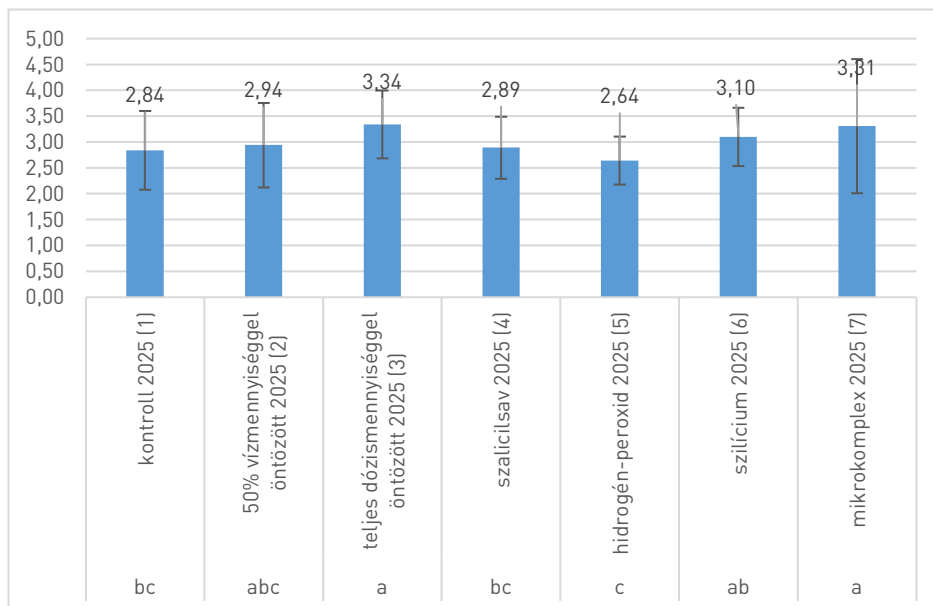
Az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés esetében mindössze az öntözőmennyiség fele került kijuttatásra, de ez kielégítőnek bizonyult a szükségszerű mennyiségű tápanyag biztosításához, illetve a levélterület fejlődéséhez, továbbá a megfelelő szintű fotoszintetikus aktivitás fenntartásához. A szalicilsavas kezelés során tapasztalt, kontrollhoz képest szignifikánsan magasabb eredmények a vegyület jelátvivő (szignálmolekula) szerepére vezethetők vissza. A szalicilsav nemcsak a stresszválaszok koordinálásában vesz részt, hanem stimulálja a klorofillszintézist, a fotoszintetikus aktivitást és a lombozat fejlődését is (Khan et al., 2015). Hasonlóan pozitív tendenciát mutattak a hidrogén-peroxiddal kezelt növények, amelyek szintén szignifikánsan magasabb eredményt mutattak, mint a kontrollcsoport. Alacsony koncentrációban a hidrogén-peroxid is szignálmolekulaként funkcionál: aktiválja az endogén sejtvédelmi mechanizmusokat, ezáltal mérsékli a környezeti stressz növekedésgátló hatását (Neill et al., 2002).

A szilícium-alkalmazás szintén a kontrollnál szignifikánsan magasabb értékeket eredményezett. Gong et al. (2005) megállapításai szerint a szilícium kulcsszerepet játszik az antioxidáns védekezés serkentésében, miközben elősegíti a fotoszintetikus gázcsere fenntartását stresszhatás alatt is. Végezetül a mikrokomplex kezelés is szignifikánsan magasabb eredményt hozott a kontrollhoz képest. A készítményben található esszenciális mikroelemek (Zn, Fe, Cu és Mn) nélkülözhetetlenek a klorofillszintézishez és az enzimatikus antioxidáns rendszerek működtetéséhez, így hatékonyan mérséklék a száraz körülmények okozta oxidatív károsodást (Broadley et al., 2012).

Az általunk elvégzett mérések szerint 2025-ben a teljes dózismennyiséggel öntözött és a mikrokomplex kezelések eredményeztek szignifikánsan magasabb LAI értéket a kontroll kezeléshez viszonyítva (7. ábra.). A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés esetében a kijuttatott víz biztosította a növények megfelelő mennyiségű ellátását. Mivel a folyamatosan rendelkezésre állt elegendő mennyiségű nedvesség, nem alakult ki vízstressz, a sztómák nem záródtak be, így a fotoszintézis zavartalanul működhetett, tehát nagyobb mennyiségű szárazanyag-felhalmozódás tudott végbemenni a tenyészidőszak folyamán.

A mikrokomplex kezelés eredményeit magyarázhatja, hogy adekvát mennyiségű mikroelem jelenléte garantálta a klorofillszintézist, ezáltal a fotoszintézis aktivitásának fenntartását, ami a levélzetben az asszimiláták nagyobb mennyiségű beépülését eredményezte (Marschner, 2012).

7. ábra. A kezelések hatása a LAI értékekre a 2025. tenyészévben  
(Sonkád, 2025)



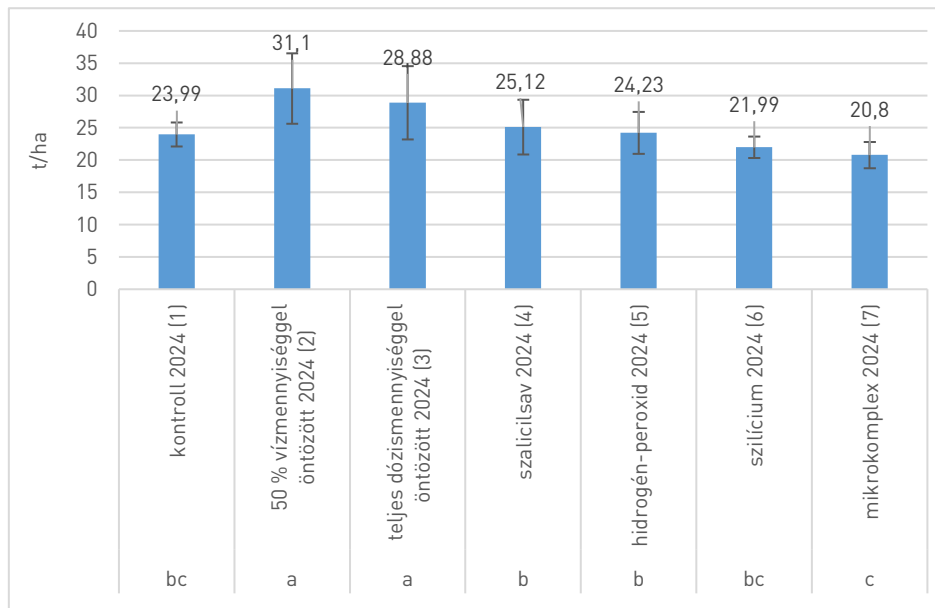
Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 7. The effect of treatments on LAI values in the 2025 growing season (Sonkád, 2025). (1) Control 2025, (2) Irrigated using 50% dose in 2025, (3) Irrigated with full dose in 2025, (4) Salicylic acid 2025, (5) Hydrogen peroxide 2025, (6) Silicon 2025, (7) Microcomplex 2025, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

### Terméshozam

A 2024-es év vizsgálata során a legmagasabb terméshozamokat a teljes dózismennyiséggel, valamint az 50%-os vízmennyiséggel kezelt parcellákon realizáltuk. E kezelések a kontrollcsoport átlagát rendre 17%-kal, illetve 23%-kal szárnyalták túl, azonban a két öntözési szint között nem mutatkozott statisztikailag igazolható különbség (8. ábra).

8. ábra. A kezelések hatása a termés hozamra a 2024. tenyészévben  
(Sonkád, 2024)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 8. The effect of treatments on yield in the 2024 growing season (Sonkád, 2024). (1) Control 2024, (2) Irrigated using 50% dose in 2024, (3) Irrigated with full dose in 2024, (4) Salicylic acid 2024, (5) Hydrogen peroxide 2024, (6) Silicon 2024, (7) Microcomplex 2024, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

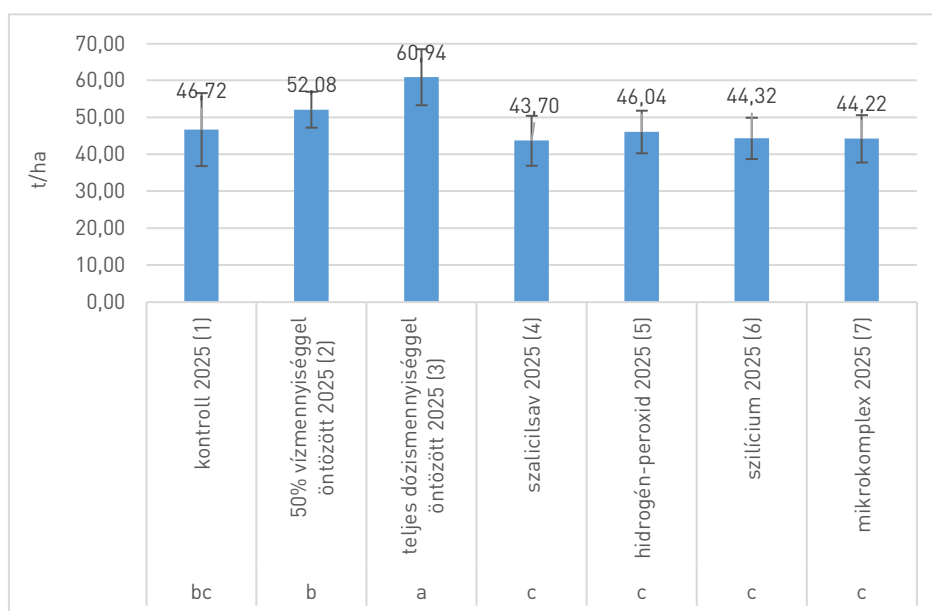
Ezzel szemben a szalicilsav, a hidrogén-peroxid, a szilícium, valamint a mikrokomplex kezelések a kontrollhoz viszonyítva nem eredményeztek szignifikáns hozamnövekedést, annak ellenére, hogy bizonyos élettani paraméterek (pl. NDVI) tekintetében korábban pozitív elmozdulást mutattak.

Statisztikailag kimutatható, hogy csupán a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés mutatott különbséget a kontrollhoz képest, amit szignifikáns mértékben felülmúlt (9. ábra).

A többi kezelés egy szignifikancia csoportban van a kontrollal. A 2025-ös évben végzett méréseink nem támasztják alá Wadas & Debski (2022), továbbá Crusciol et al. (2009) megfigyeléseit a szilícium levélkezelések termésmenővelő hatását illetően. Az El-Areiny et al. (2019) kutatásai a szalicilsav hozamfokozó

hatásáról számol be, ezt az általunk végzett megfigyelések nem erősítették meg. Számos szerző (Al-Fadhly, 2016; Al-Jobori & Al-Hadithy, 2018; Seleiman et al., 2023) beszámolt a mikroelemekkel végzett levélpermetezések terméshozam növelő hatásáról, ám ezt a hatást a mi kísérletünk nem igazolta.

9. ábra. A kezelések hatása a terméshozamra a 2025. tenyészévben  
(Sonkád, 2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

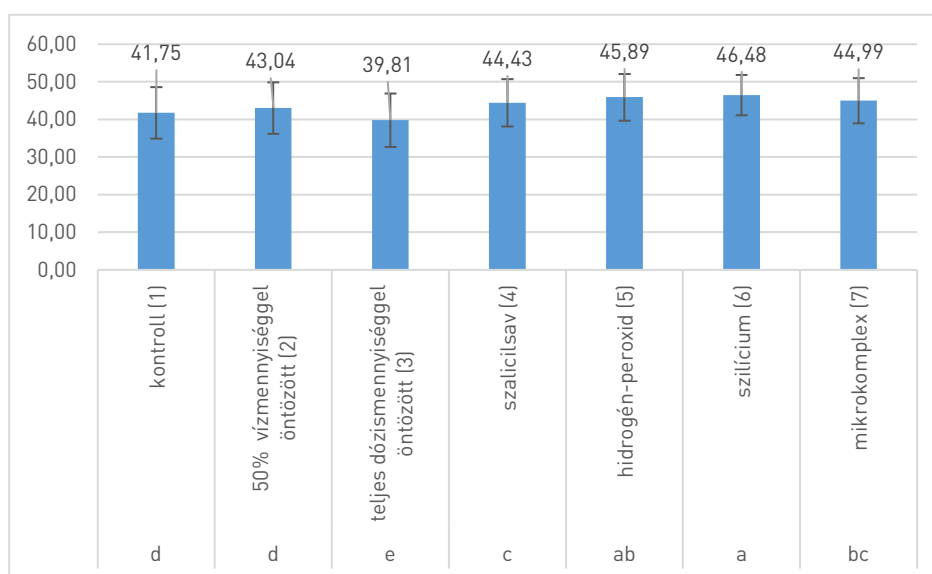
Figure 9. The effect of treatments on yield in the 2025 growing season (Sonkád, 2025). (1) Control 2025, (2) Irrigated using 50% dose in 2025, (3) Irrigated with full dose in 2025, (4) Salicylic acid 2025, (5) Hydrogen peroxide 2025, (6) Silicon 2025, (7) Microcomplex 2025, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A 2024-es és 2025-ös tenyészévek összesítő statisztikái

#### Relatív klorofilltartalom (SPAD)

A két kísérleti év átlagában a szilícium, hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav kezelések szignifikánsan magasabb SPAD értékeket eredményeztek, mint a kontroll és az öntözött kezelések (10. ábra).

10. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya relatív klorofilltartalmára a vizsgált két év átlagában (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

*Figure 10.* The effect of various treatments on the relative chlorophyll content of potatoes, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

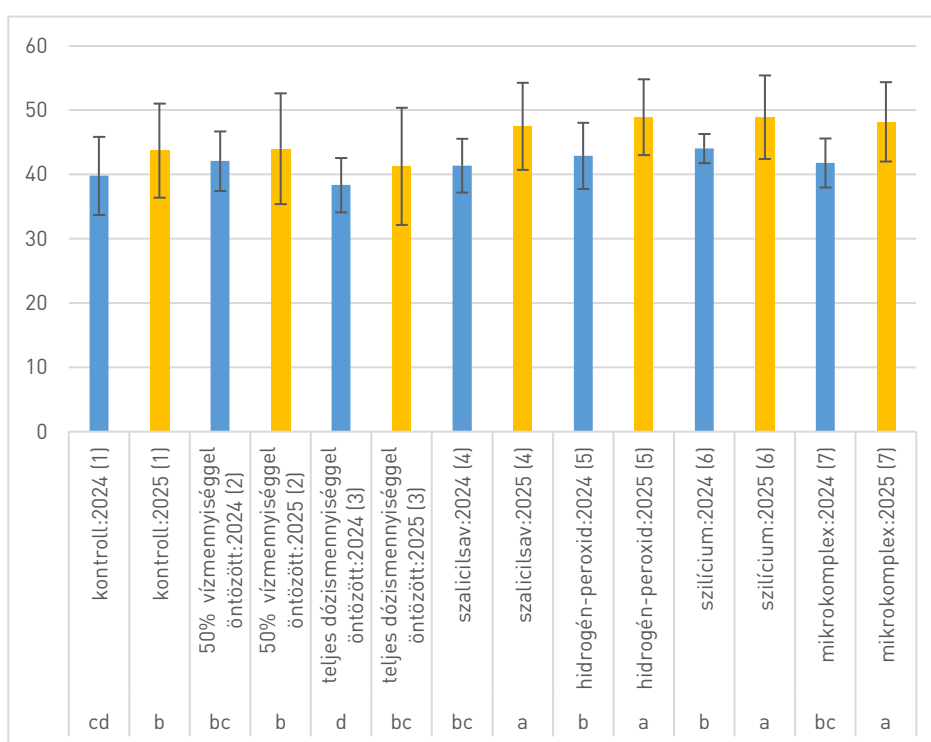
A teljes vízdózissal öntözött a kontroll kezeléssel van egy szignifikancia csoportban, míg az 50% vízmennyiséggel öntözött szignifikánsan alacsonyabb eredményt produkált, mint a kontroll.

A 11. ábra elemzése rávilágít, hogy a 2025-ös tenyészévben alkalmazott mikrokomplex, hidrogén-peroxid, szalicilsav és szilícium kezelések minden egyéb vizsgált variánsnál szignifikánsan magasabb SPAD-értékeket eredményeztek, mint a kontroll és az öntözött kezelések.

Ez egyben azt is jelenti, hogy e négy kezelés 2025-ös teljesítménye statisztikailag igazolhatóan felülmúlta az összes 2024-es kezelési értéket. Az

azonos kezelések éves összevetése során – az 50%-os vízpótlás kivételével – minden esetben szignifikáns növekedés mutatkozott a 2025-ös év javára.

11. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya relatív klorofilltartalmára a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 11. The effect of various treatments on the relative chlorophyll content of potatoes, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A két év közötti markáns eltérést az intenzívebb kezelési gyakoriság és a burgonya igényeihez közelebb álló 2025-ös időjárási körülmények együttes hatása magyarázhatja. Míg 2024-ben 21 naponta volt összesen három kezelés, addig 2025-ben 5–7 naponta végeztünk kezeléseket, összesen 11 alkalommal. A másik különbséget okozó tényező az időjárás lehet. A 2025-ös évben a május és

a július hónapok alacsonyabb középhőmérséklettel rendelkeztek, mint 2024 azonos hónapjai (1. ábra). Mindössze június hónap középhőmérséklete volt 0,2 °C-kal melegebb. Összességében a 2025-ös év középhőmérsékletei közelebb álltak a burgonya számára ideálisnak tekintett 5–21 °C középhőmérséklet intervallumhoz. (Augusztus hónapot nem vettük figyelembe ebben a tekintetben, ugyanis 2024. 08. 01. és 2025. 08. 02. dátummal történtek meg az utolsó mérések.) A 2024-es év május és június hónapokban sokkal több csapadék érkezett, mint 2025. azonos időszakában, ellenben a 2024 július rendkívül aszályos volt, míg 2025 júliusa a 30 éves átlag több, mint kétszeresét eredményezte (160,8 mm).

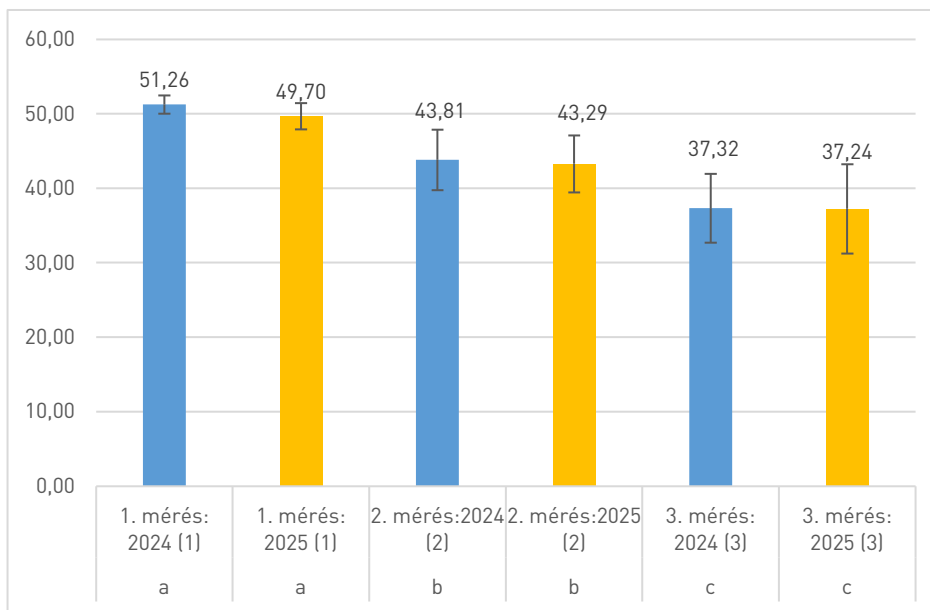
A mérési időpontok összehasonlítása során megállapítható, hogy a SPAD-értékek a tenyészidőszak előrehaladtával szignifikánsan csökkentek (12. ábra). Mindkét vizsgált évben az első mérési időpontban mértük a legmagasabb relatív klorofill értékeket. Az 1. mérés eredményei mindkét évben szignifikánsan magasabbak voltak a 2. és 3. időpontok értékeitől ( $P < 0,05$ ), továbbá a 2. mérés adatai is szignifikáns csökkenést mutattak a 3. méréshez képest. Az azonos betűjelzések (a, b, c) alapján az évek közötti variancia nem volt számottevő. Összességében megállapítható, hogy a SPAD-értékek trendje hűen követi a növény fenológiai fázisait és az öregedéssel járó klorofillcsökkenést.

#### *Normalizált Vegetációs Index (NDVI)*

A két tenyészév átlagában a legmagasabb értéket a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés érte el, ám ez statisztikailag nem különbözik a hidrogén-peroxid, szilícium, mikrokomplex és szalicilsav kezelésektől (13. ábra). A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés szignifikánsan magasabb kétéves átlagot eredményezett az 50% vízmennyiséggel öntözött és a kontroll kezelésektől. A hidrogén-peroxid, szilícium, mikrokomplex, szalicilsav és 50% vízmennyiséggel öntözött kezelések kétéves átlagai egy szignifikancia csoportba tartoznak, amelyek mind szignifikánsan magasabb átlagértékeket produkáltak, mint a kontroll.

A 2024-es évben minden kezelés magasabb NDVI átlagot eredményezett, mint az azonos kezelések 2025-ben (14. ábra). Ezek a különbségek, több esetben szignifikáns eltérést eredményeztek a 2024-es kezelések javára. Míg 2024-ben az NDVI értékek 0,72–0,82 értékek között szóródtak, addig 2025-ben 0,71–0,77 közötti sávban helyezkedtek el. Ez valamilyen stressz jelenlétét mutatja a 2025-ös évben.

12. ábra. A mérésidők közötti különbségek a burgonya relatív klorofilltartalmára a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)

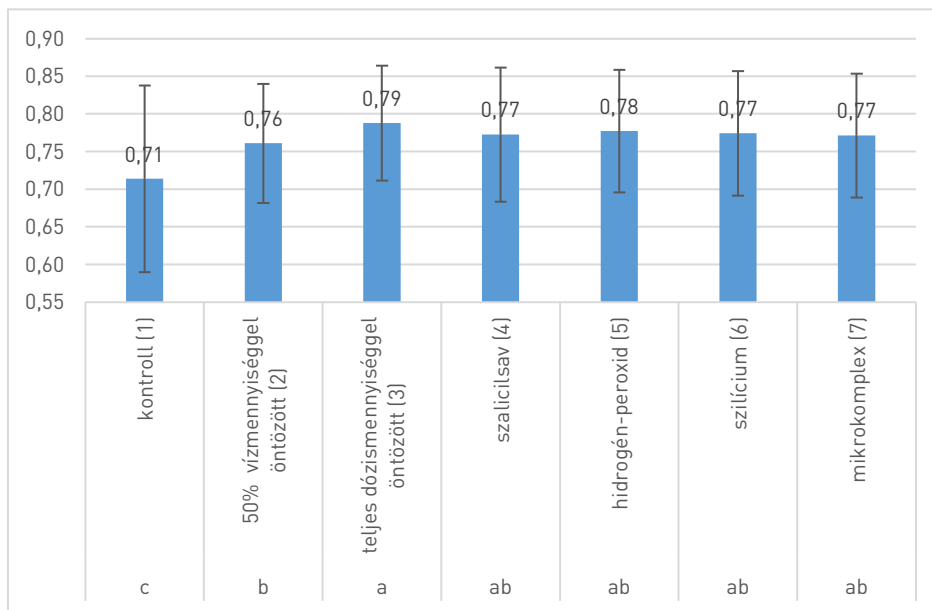


Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 12. Differences in the relative chlorophyll content of potatoes between measurement periods in the two crop years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) 1st measurement, (2) 2nd measurement, (3) 3rd measurement, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A korábbiakban már kifejtésre került, hogy időjárás tekintetében a 2025-ös év kedvezőbb volt a burgonya számára, viszont 2025. június közepén fitoftóra (*Phytophthora infestans*) fertőzés jelent meg, ami végigkísérte a burgonya vegetációját. További stresszfaktort jelentett a május eleji fagy, valamint a júliusban 2 nap alatt érkezett 100 mm eső. A fitoftóra, a hőstressz, a kései fagy, a szárazság és a hirtelen nagy mennyiségű csapadék együttes stresszhatása állhat a 2025-ös évben megfigyelhető alacsonyabb NDVI értékek mögött. Mindkét évben a kontroll kezelések szignifikánsan alacsonyabb NDVI átlagot mutattak minden egyéb kezelésnél (kivéve az 50% vízmennyiséggel öntözött: 2025), vagyis az NDVI értékekből szépen kirajzolódik a kezelések stressz mitigáló hatása.

13. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya NDVI értékére a vizsgált két év átlagában (Sonkád, 2024–2025)

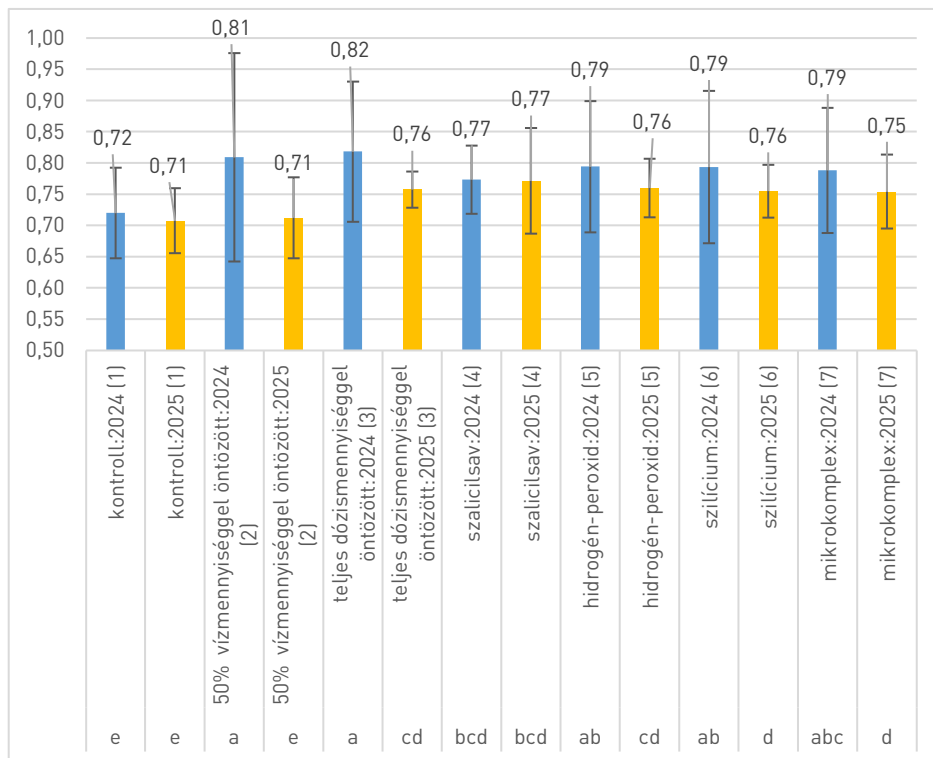


Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 13. The effect of different treatments on potato NDVI values, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

Megfigyelhető, hogy mindkét mérési évben az NDVI értékek a burgonya életciklusával előre haladva csökkenő tendenciát mutatnak (15. ábra). Szembetűnő, hogy a 2024 1. és 2. mérések szignifikánsan magasabb átlagokat eredményeztek, mint a 2025.év 1. mérése. A 2025-ös évben a mérési időpontok között a csökkenés mértéke közel egységes (0,77–0,75–0,71). Míg 2024-ben a 2. és 3. mérési időpont között sokkal nagyobb léptékű a csökkenés (0,88–0,83–0,65). Ez magyarázható a 2024-es év száraz júliusával, amikor is mindössze 15,6 mm csapadékot mértünk, illetve a középhőmérséklet pedig 3,3 °C-kal haladta meg a burgonya számára ideális hőmérséklet maximumát.

14. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya NDVI értékére a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)

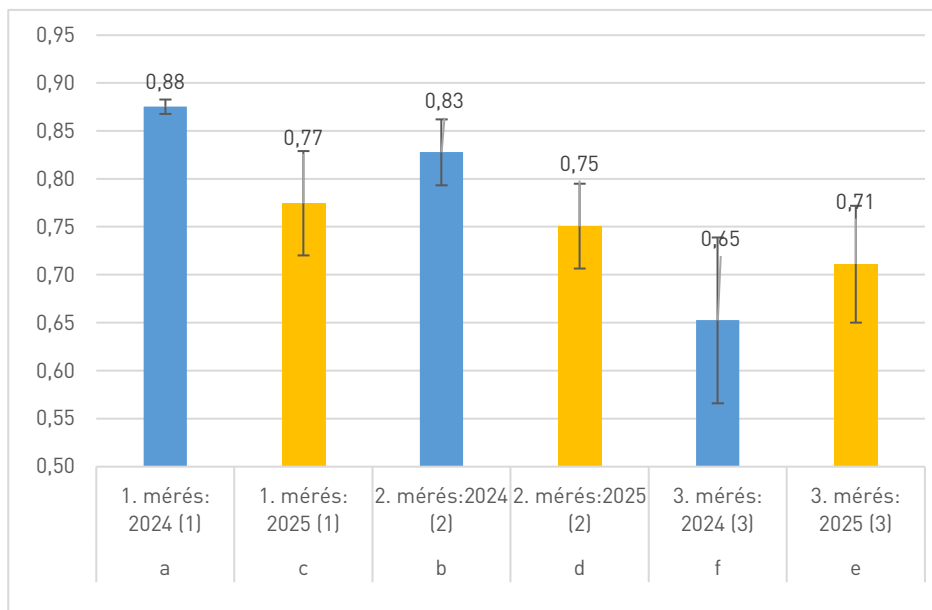


Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 14. The effect of different treatments on potato NDVI values, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

Ezzel szemben a 2025. július havi középhőmérséklet kisebb mértékben haladta meg az ideális középhőmérséklet maximumát, továbbá jelentős mennyiségű csapadék volt mérhető. Ezen felül az is jelentős szerepet játszhatott a 2024. évi 3. mérési átlag erőteljes csökkenésénél, hogy 2024-ben összesen 3 kezelés volt, míg 2025-ben pedig több (11) kezelés vagy öntözési beavatkozás történt, ami segített fenntartani a fotoszintetikus aktivitást a kritikus időszakban.

15. ábra. A mérésidők közötti különbségek a burgonya NDVI értékére a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

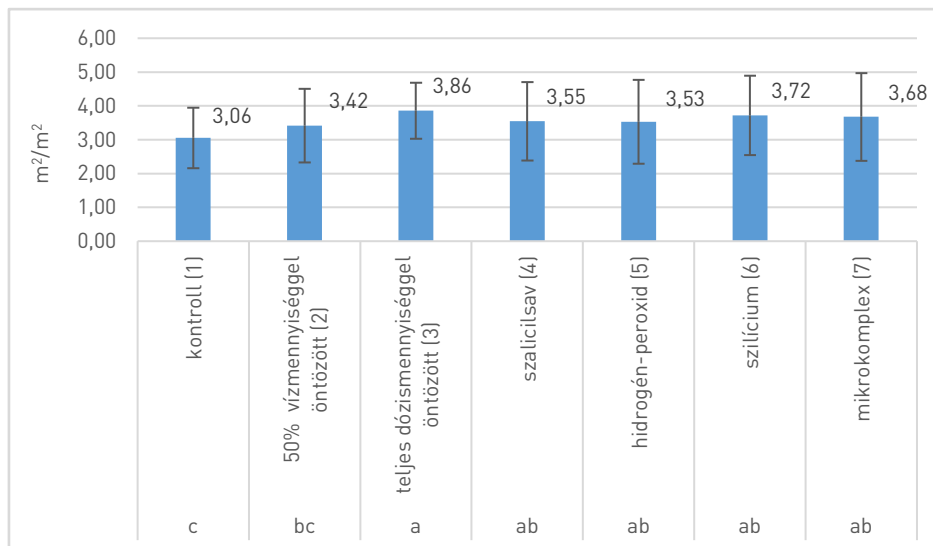
Figure 15. Differences in the NDVI values of potatoes between measurement periods in the two crop years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) 1st measurement, (2) 2nd measurement, (3) 3rd measurement, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A vegetációs index alakulása mindkét vizsgált évben követte a burgonya fenológiai sajátosságait: a tenészedőszak előrehaladtával az NDVI értékek degresszív tendenciát mutattak. Megállapítható azonban, hogy a környezeti tényezők szignifikáns hatást gyakoroltak a csökkenés ütemére. Míg 2024-ben az első két mérés során még kiemelkedő (0,88 és 0,83) átlagokat mértünk, a harmadik mérésre az index értéke drasztikusan, 0,65-re esett vissza. Ez a hirtelen változás közvetlen összefüggésbe hozható a 2024. júliusi aszályos periódussal (15,6 mm csapadék) és az extrém hóhullámmal, amikor a középhőmérséklet 3,3°C-kal haladta meg a burgonya fiziológiai optimumának felső határát. Ez az abiotikus stressz felgyorsította a lombzat szeneszenciáját (öregedését) és korlátozta a fotoszintetikus aktivitást.

*Levélterület-index (LAI)*

Megfigyelhető, hogy a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelések kétéves átlaga eredményezte a legmagasabb értéket. A szilícium, mikrokomplex, szalicilsav és hidrogénperoxid kezelések és a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés között nem mutatkozott szignifikáns különbség (16. ábra).

16. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya LAI értékére a vizsgált két év átlagában (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

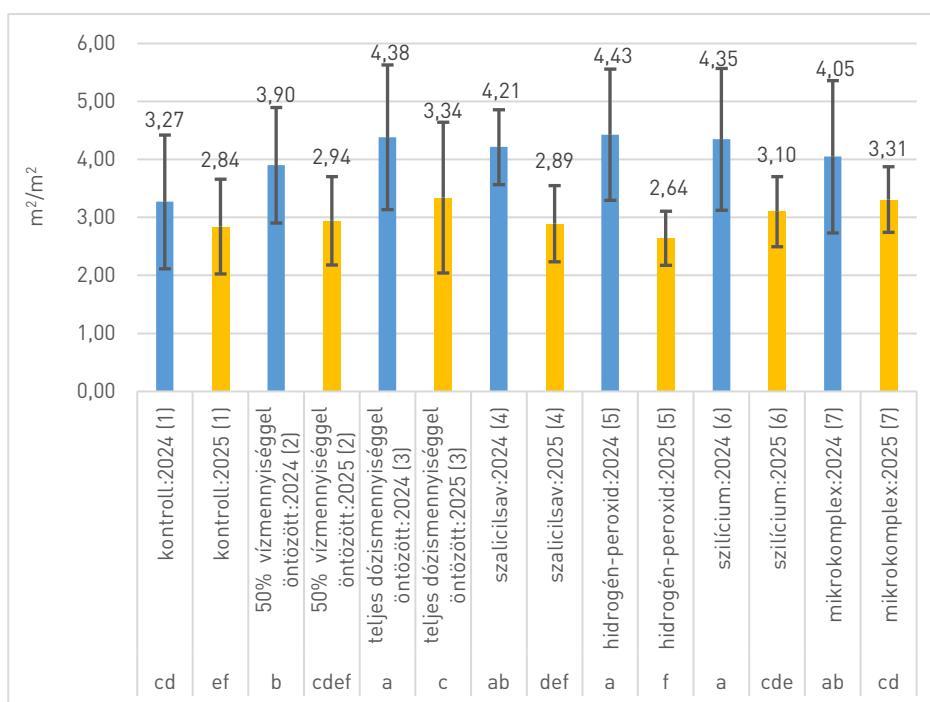
*Figure 16.* The effect of different treatments on potato LAI values, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A kontroll kezeléshez viszonyítva négy kezelés szignifikánsan nagyobb levélterület-indexel bírt, vagyis nagyobb levélfelületet fejlesztettek a kezelt növények. Az 50%-os vízmennyiséggel öntözött kezelés bár elmaradt a maximumot nyújtó teljes öntözéstől, mégis igazolható fejlődést mutatott a kezeletlen kontrollhoz képest. Ezen megfigyelések alátámasztják, hogy a vizsgált biostimulánsok és mikroelemek alkalmazása képes ellensúlyozni a vízkorlátozottság levélterület-indexre gyakorolt

negatív hatásait, biztosítva a kontrollnál nagyobb asszimilációs felületet még szuboptimális vízellátottság mellett is.

A hidrogén-peroxid: 2024, a teljes dózismennyiséggel öntözött: 2024, szilícium: 2024, emellett a szalicilsav: 2024 és a mikrokomplex: 2024 értékei a teljesítő kezelésektől szignifikánsan nem különböztek (17. ábra).

17. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya LAI értékére a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

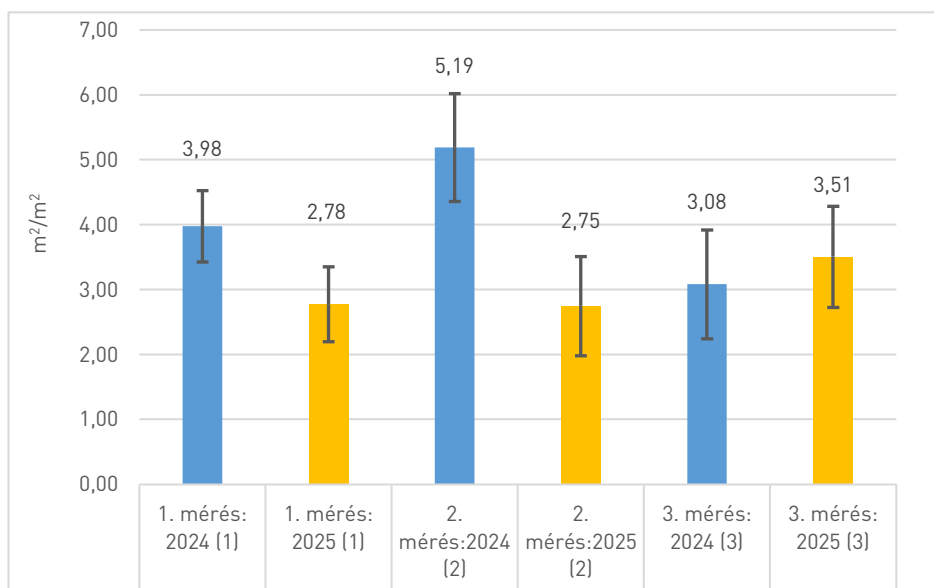
Figure 17. The effect of different treatments on potato LAI values, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

E szerint a 2024-es évben a levélkezelések az öntözés alternatíváját jelentették a levélterület-index szempontjából. A 2025-ös év kezeléseire rendre

szignifikánsan alacsonyabb átlagokat eredményeztek, mint 2024 azonos kezelései. A 2025-ös évben a teljes dózissal öntözött kezelés  $3,34 \text{ m}^2/\text{m}^2$  volt a legnagyobb értéket produkáló kezelés, ami nem mutatott szignifikáns különbséget a mikrokomplex: 2025  $3,31$ , szilícium: 2025  $3,10 \text{ m}^2/\text{m}^2$  és 50% vízmennyiséggel öntözött: 2025  $2,94 \text{ m}^2/\text{m}^2$  kezelésekhöz képest. Vagyis ezen felsorolt kezelések a 2025-ös évben statisztikailag az LAI-ra gyakorolt értelemben az öntözés alternatíváját jelentették.

A 2024-es évben az első mérési időpont után egy jelentős növekedés következett be a levélterület-indexben a 2. mérési időpontra  $5,19 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , ami szignifikánsan magasabb, mint az 1. és 3. mérési időpont átlagai (18. ábra).

18. ábra. A mérésidők közötti különbségek a burgonya LAI értékére a vizsgált két évjáratban (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 18. Differences in the LAI values of potatoes between measurement periods in the two crop years studied [Sonkád, 2024–2025]. (1) 1st measurement, (2) 2nd measurement, (3) 3rd measurement, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

Ez a trend követi a növény életciklusát, virágzás előtt kisebb lombzat, majd virágzáskor eléri a lombzat a maximumát, majd ezt követően a lombzat területe annak öregedésével csökken.

A 2025-ös évben mérsékelt csökkenés figyelhető meg a LAI-ban a 2. mérési időpontban, ami szignifikánsan nem különbözik az 1. mérési időpont átlagától, majd a 3. mérési időpontban szignifikáns növekedés tapasztalható a 2. mérési időponthoz képest. Ez magyarázza, hogy a 2025 májusában 44 mm, júniusban pedig csupán 8,4 mm csapadék érkezett, (ami okán, július elején az állomány megmentése érdekében életmentő öntözést kellett végrehajtani) a 3. mérés 2025. augusztus 2-án történt meg, vagyis a júliusban érkezett 160,8 mm csapadék után, azaz az állománynak lehetősége volt feljavulni a bőséges csapadékot követően (re-greening).

#### *Terméshozam*

Két év átlagában a teljes dóziséú öntözés eredményezte a legmagasabb termést (43,99 t/ha), a második legmagasabb átlagot az 50% vízmennyiséggel öntözött érte el, ami szignifikánsan nem különbözik a teljes dóziséú öntözéstől, illetve a kontrolltól sem (19. ábra).

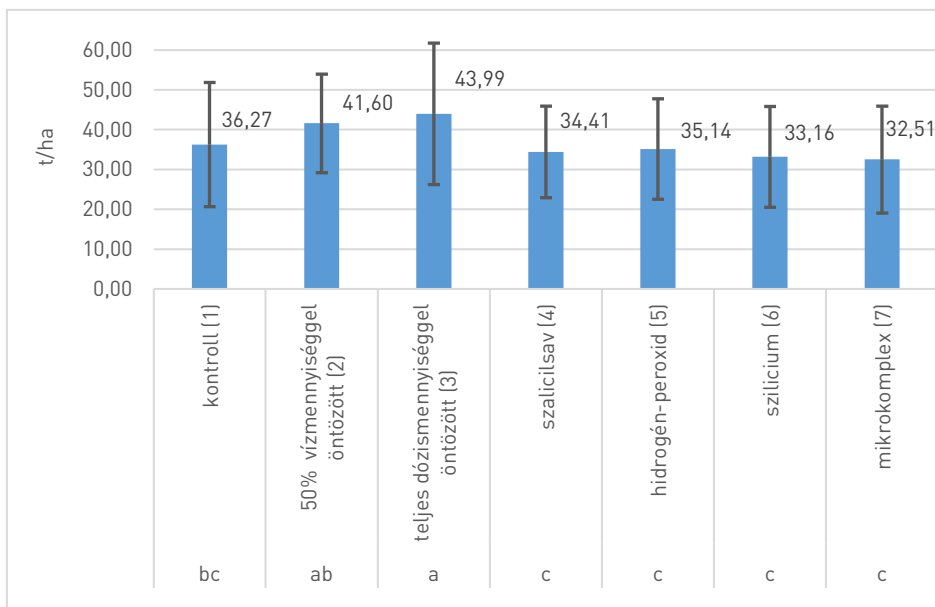
A hidrogén-peroxid, szalicilsav, szilícum és mikrokomplex kezelések egy szignifikancia csoportba tartoznak melyek szignifikánsan nem különböznek a kontrolltól. A két év átlagában elmondható, hogy a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés teljesített a legjobban, ennek statisztikailag igazoltan alternatívája lehet az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés. Azonban a hidrogén-peroxid, szalicilsav, szilícum és mikrokomplex kezelések nem jelentenek alternatívát a terméshozam tekintetében az öntözött kezelésekkal szemben.

#### **Következtetések**

A két tenyészévben kapott eredmények alapján elmondható, hogy a kísérletünkben használt levélkezelések növényfiziológiai értékekre szignifikáns hatást tudtak gyakorolni. A relatív klorofilltartalom értékek kétéves átlagát vizsgálva látható, hogy a szilíciummal végzett kezelés eredményezte a legmagasabb átlagot, továbbá a hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav kezelések is szignifikánsan magasabb átlagot eredményeztek a kontroll és az öntözött kezelések átlagaitól. NDVI értékek tekintetében, két év átlagában a

hidrogén-peroxid, szilícium, szalicilsav és mikrokomplex kezelések szignifikáns különbséget nem mutattak a legmagasabb értéket produkáló teljes dózismennyiséggel öntözött kezeléshez képest.

19. ábra. A különböző kezelések hatása a burgonya terméshozamára a vizsgált két év átlagában (Sonkád, 2024–2025)



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok  $P \leq 0,05$  szinten különböznek.

Figure 19. The effect of different treatments on potato yield, averaged over the two years studied (Sonkád, 2024–2025). (1) Control, (2) Irrigated using 50% dose, (3) Irrigated with full dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: the columns labeled with different letters differ at the  $P \leq 0.05$  level.

A levélterület-index (LAI) esetében megfigyelhető, hogy a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelések kétéves átlaga eredményezte a legmagasabb értéket ugyanakkor ezzel egy szignifikancia csoportba tartoznak a szilícium, mikrokomplex, szalicilsav és hidrogén-peroxid kezelések, vagyis e kezelések és a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés között nem mutatkozott szignifikáns különbség. Végezetül a legfontosabb indikátor, a

terméshozam esetében, a korábbi mutatókban elért jó teljesítmény ellenére a szilícium, hidrogén-peroxid, mikrokomplex és szalicilsav kezelések két év átlagában szignifikánsan gyengébb teljesítményt mutattak, mint a teljes dózismennyiséggel öntözött és az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelések. Azon célunk, miszerint az öntözés kedvező hatásait levélkezelésekkel váltsuk ki, további vizsgálatokat igényel.

#### IRODALOM

- Acevedo, A. F. G., Lacerda, V. R., Da Silva Gomes, J. W., Avilez, A. A., Sarria, S. D., Broetto, F., Vieites, R. L., & De Souza Guimarães, M. L. C. (2023). Foliar salicylic acid application to mitigate the effect of water deficiency on potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Stress*, 7, 100135. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2023.100135>
- Al-Fadhly, J. T. (2016). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of zinc and manganese which fertilized by organic fertilizer. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 4(4), 87–91.
- Alhoshan, M., & Zahedi, M. (2022). Foliar Application of Salicylic Acid and Glycine Betaine improve Antioxidant Enzymes and Biochemical Characteristics of Potato Cultivars. *Journal of Agriculture, Food, Environment and Animal Sciences*, 3(2), 89–108.
- Aliche, E. B., Theeuwen, T. P. J. M., Oortwijn, M., Visser, R. G. F., & Van Der Linden, C. G. (2020). Carbon partitioning mechanisms in potato under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.019>
- Al-Jobori, K., & Al-Hadithy, S. (2014). Response of Potato (*Solanum tuberosum*) to Foliar Application of Iron, Manganese, Copper, and Zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences, IJACS/2014/17*, 358–363.
- Al-Taey, D. K. A., & Hussain, A. J. (2023). Drought's Impact on Growth and Strategies to Mitigate its Effects on Potato Cultivation: A review. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1262(4), 042070. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1262/4/042070>
- Barzotto, G. R., Cardoso, C. P., Jorge, L. G., Campos, F. G., & Boaro, C. S. F. (2023). Hydrogen peroxide signal photosynthetic acclimation of *Solanum lycopersicum* L. cv Micro-Tom under water deficit. *Scientific Reports*, 13(1), 13059. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40388-y>

- Broadley, M., Brown, P., Çakmak, I., Rengel, Z. & Zhao, F. (2012). *Function of nutrients: micronutrients*: [In: Marschner, P. (ed.) Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants. 3rd ed.] Academic Press. London. 191–248. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384905-2.00007-8>
- Chen, W., Yao, X. Q., Cai, K. Z., Chen, J. (2011). Silicon alleviates drought stress of rice plants by improving plant water status, photosynthesis and mineral nutrient absorption. *Biological Trace Element Research*, 142(1), 67–76. <https://doi.org/10.1007/s12011-010-8742-x>
- Crusciol, C. A. C., Pulz, A. L., Lemos, L. B., Soratto, R. P. & Lima, G. P. P. (2009). Effects of Silicon and Drought Stress on Tuber Yield and Leaf Biochemical Characteristics in Potato. *Crop Science*, 49(3), 949–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.04.0233>
- El-Areiny, A., Alkharpotly, A., Gabal, A., Abido, A. (2019). Potato Yield and Quality as Affected by Foliar Application with Cytokinin and Salicylic Acid. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 24(1), 52–77.
- Epstein, E. (1999). *SILICON. Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 50(1), 641–664. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.50.1.641>
- Evers, D., Lefèvre, I., Legay, S., Lamoureux, D., Hausman, J. F., Rosales, R. O. G., Marca, L. R. T., Hoffmann, L., Bonierbale, M. & Schafleitner, R. (2010). Identification of drought-responsive compounds in potato through a combined transcriptomic and targeted metabolite approach. *Journal of Experimental Botany*, 61(9), 2327–2343. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq060>
- Fageria, N. K., Baligar, V. C. & Li, Y. C. (2008). The Role of Nutrient Efficient Plants in Improving Crop Yields in the Twenty First Century. *Journal of Plant Nutrition*, 31(6), 1121–1157. <https://doi.org/10.1080/01904160802116068>
- Gervais, T., Creelman, A., Li, X.-Q., Bizimungu, B., De Koeber, D. & Dahal, K. (2021). Potato Response to Drought Stress: Physiological and Growth Basis. *Frontiers in Plant Science*, 12, 698060. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.698060>
- Gong, H. J., Zhu, X. Y., Chen, K. M., Wang, S. M. & Zhang, C. L. (2005). Silicon alleviates oxidative damage of wheat plants in pots under drought. *Plant Science*, 169: 313–321. DOI:10.1016/j.plantsci.2005.02.023
- Guntzer, F., Keller, C. & Meunier, J. D. (2012). Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 201–213. <https://doi.org/10.1007/s13593-011-0039-8>
- Hänsch, R. & Mendel, R. R. (2009). Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology*, 12(3), 259–266. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.05.006>
- Hasan, H., Dais, M. & Suleiman, S. (2023). Leaves attributes and water use efficiency of potatoes grown under water stress after cycocel salicylic acid and humic acid sprays. *DYSONA - Applied Science*, 4(2). <https://doi.org/10.30493/das.2023.395764>

- Haverkort, A. J. (1990). Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agricultural Systems*, 32(3), 251–272. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(90\)90004-A](https://doi.org/10.1016/0308-521X(90)90004-A)
- Haverkort, A. J. & Verhagen, A. (2008). Climate Change and Its Repercussions for the Potato Supply Chain. *Potato Research*, 51(3–4), 223–237. <https://doi.org/10.1007/s11540-008-9107-0>
- Hossain, M. A., Bhattacharjee, S., Armin, S. M., Qian, P., Xin, W., Li, H. Y., Burritt, D. J., Fujita, M. & Tran, L. S. P. (2015). Hydrogen peroxide priming modulates abiotic oxidative stress tolerance: Insights from ROS detoxification and scavenging. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00420>
- Khan, M. I. R., Fatma, M., Per, T. S., Anjum, N. A., & Khan, N. A. (2015). Salicylic acid-induced abiotic stress tolerance and underlying mechanisms in plants. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>
- Lahlou, O., Ouattar, S. & Ledent, J. F. (2003). The effect of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. *Agronomie*, 23(3), 257–268. <https://doi.org/10.1051/agro:2002089>
- Lobato, A. K. S., Coimbra, G. K., Neto, M. A. M., Costa, R. C. L., Filho, B. G. S., Neto, C. F. O., Luz, L. M., Barreto, A. G. T., Pereira, B. W. F., Alves, G. A. R., Monteiro, B. S. & Marochio, C. A. (2009). Protective action of silicon on water relations and photosynthetic pigments in pepper plants induced to water deficit. *Research Journal of Biological Sciences*, 4(5), 617–623.
- López-Delgado, H., Zavaleta-Mancera, H. A., Mora-Herrera, M. E., Vázquez-Rivera, M., Flores-Gutiérrez, F. X. & Scott, I. M. (2005). Hydrogen peroxide increases potato tuber and stem starch content, stem diameter, and stem lignin content. *American Journal of Potato Research*, 82(4), 279–285. <https://doi.org/10.1007/BF02871957>
- Ma, Y. Z., Pan, N., Su, W., Zhang, F. J., Ye, G. J., Pu, X. Q., Zhou, Y. & Wang, J. (2024). Soil Water Stress Effects on Potato Tuber Starch Quality Formation. *Potato Research*, 67(4), 1829–1848. <https://doi.org/10.1007/s11540-024-09720-5>
- Mahmud, A. A.–Bazzaz, M.–Khan, S. A.–Hossain, A. & Kadian, M. S. (2014). Tuber yield, tuber quality and plant water status of potato under drought and wellwatered condition. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*. (USA) ISSN 0975-5896. 14. 10: 101–107.
- Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-63043-9>
- Met.hu (2024a). Magyarország hőmérsékleti viszonyai. [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/homerseklet/index.php](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/index.php)
- Met.hu (2024b). Magyarország csapadék viszonyai. [https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/csapadek/index.php](https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/index.php)

- Metwaly, E. & El-Shatoury, R. (2017). Impact of Foliar Application with Salicylic Acid on Growth and Yield of Potato (*Solanum tuberosum* L.) under Different Irrigation Water Quantity. *Journal of Plant Production*, 8(10), 969–977. DOI: 10.21608/jpp.2017.41052
- Neill, S., Desikan, R., Clarke, A., Hurst, R. D. & Hancock, J. T. (2002). Hydrogen peroxide and nitric oxide as signalling molecules in plants. *Journal of Experimental Botany*, 53(372), 1237–1247. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.372.1237>
- Michel, A. J., Teixeira, E. I., Brown, H. E., Dellow, S. J., Maley, S., Gillespie, R. N. & Richards, K. K. (2019). *Water stress responses of three potato cultivars*. The New Zealand Institute for Plant and Food Research Limited. 25–37.
- Moussa, S. A. M., Abo El-Fadl, N. I. & Agamy, N. F. (2012). Role of Hydrogen Peroxide in Improving Potato Tuber Quality. *Alexandria Science Exchange Journal*, 33 (April-June): 73–88. <https://doi.org/10.21608/asejaiqsae.2012.3145>
- Hossain, M. A. & Fujita, M. (2013). Hydrogen Peroxide Priming Stimulates Drought Tolerance in Mustard (*Brassica juncea* L.) Seedlings. *Plant Gene and Trait*. <https://doi.org/10.5376/pgt.2013.04.0020>
- Obidiegwu, J. E., Bryan, G. J., Jones, H. G. & Prashar, A. (2015). Coping with drought: Stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>
- Pilon, C., Soratto, R. P., Broetto, F. & Fernandes, A. M. (2014). Foliar or Soil Applications of Silicon Alleviate Water-Deficit Stress of Potato Plants. *Agronomy Journal*, 106(6), 2325–2334. <https://doi.org/10.2134/agronj14.0176>
- Pinheiro, C. & Chaves, M. M. (2011). Photosynthesis and drought: Can we make metabolic connections from available data? *Journal of Experimental Botany*, 62(3), 869–882. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq340>
- Plich, J., Boguszewska-Mańkowska, D. & Marczewski, W. (2020). Relations Between Photosynthetic Parameters and Drought-Induced Tuber Yield Decrease in Katahdin-Derived Potato Cultivars. *Potato Research*, 63(4), 463–477. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09451-3>
- Reddy, B. J., Mandal, R., Chakroborty, M., Hijam, L. & Dutta, P. (2018). A Review on Potato (*Solanum tuberosum* L.) and its Genetic Diversity. *International Journal of Genetics*, 10(2), 360. <https://doi.org/10.9735/0975-2862.10.2.360-364>
- Reis, A. D. P., Carvalho, R. F., Costa, I. B., Girio, R. J. S., Gualberto, R., Spers, R. C. & Gaion, L. A. (2022). Hydrogen peroxide is involved in drought stress long-distance signaling controlling early stomatal closure in tomato plants. *Brazilian Journal of Biology*, 82, e267343. <https://doi.org/10.1590/1519-6984.267343>
- Rodríguez-Pérez, L., Núñez L., C. E. & Moreno, F. L. P. (2017). Drought stress affects physiological parameters but not tuber yield in three Andean potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars. *Agronomía Colombiana*, 35(2), 158–170. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v35n2.65901>

- Rudack, K., Seddig, S., Sprenger, H., Köhl, K., Uptmoor, R. & Ordon, F. (2017). Drought stress-induced changes in starch yield and physiological traits in potato. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 203(6), 494–505. <https://doi.org/10.1111/jac.12224>
- Rykaczewska, K. (2013). The Impact of High Temperature during Growing Season on Potato Cultivars with Different Response to Environmental Stresses. *American Journal of Plant Sciences*, 4(12), 2386–2393. <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.412295>
- Salehi-Lisar, S. Y. & Bakhshayeshan-Agdam, H. (2016). Drought Stress in Plants: Causes, Consequences, and Tolerance. [In: Hossain, M. A. et al. (eds.) Drought Stress Tolerance in Plants. Vol 1. 1–16.] Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-28899-4_1)
- Sárvári, M. (2022). *Burgonya*. [In: Pepó, P. (szerk.) Integrált növénytermesztés II. Alapnövények.] 243–273.
- Schafleitner, R., Gutierrez, R., Espino, R., Gaudin, A., Pérez, J., Martínez, M., Domínguez, A., Tincopa, L., Alvarado, C., Numberto, G. & Bonierbale, M. (2007). Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Research*, 50(1), 71–85. <https://doi.org/10.1007/s11540-007-9030-9>
- Seleiman, M. F., Al-Selwey, W. A., Ibrahim, A. A., Shady, M. & Alsadon, A. A. (2023). Foliar Applications of ZnO and SiO<sub>2</sub> Nanoparticles Mitigate Water Deficit and Enhance Potato Yield and Quality Traits. *Agronomy*, 13(2), 466. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020466>
- Sharma, P. (2013). *Salicylic Acid: A Novel Plant Growth Regulator – Role in Physiological Processes and Abiotic Stresses Under Changing Environments*. [In: Tuteja, N. & Gill, S. S. (eds.) Climate Change and Plant Abiotic Stress Tolerance (1st ed, 939–990.) Wiley. <https://doi.org/10.1002/9783527675265.ch36>
- Shoukat, S. – Tufail, A. (2025). Drought Stress Management in Potatoes: Physiological, Biochemical, and Agronomic Strategies. *Applied Agriculture Sciences*, 3(1), 1–8, 10053 <https://doi.org/10.25163/agriculture.3110053>
- Stark, J. C., Love, S. L., King, B. A., Marshall, J. M., Bohl, W. H. & Salaiz, T. (2013). Potato Cultivar Response to Seasonal Drought Patterns. *American Journal of Potato Research*, 90(3), 207–216. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9285-9>
- Toor, M. D., Adnan, M., Javed, M. S., Habibah, U. E., Arshad, A., Mughees ud din, M. & Ahmad, R. (2020). Foliar application of Zn: Best way to mitigate drought stress in plants; A review. *International Journal of Applied Research*, 6(8), 16–20.
- Van Loon, C. D. (1981). The effect of water stress on potato growth, development, and yield. *American Potato Journal*, 58(1), 51–69. <https://doi.org/10.1007/BF02855380>
- Wadas, W. (2022). Possibility of increasing early crop potato yield with foliar application of silicon. *Agronomy Science*, 77(2), 61–75. <https://doi.org/10.24326/as.2022.2.6>

- Wadas, W. & Dębski, H. (2022). Effect of silicon foliar application on the assimilation area and photosynthetic pigment contents of potato (*Solanum tuberosum* L.) *Applied Ecology and Environmental Research*, 20(2), 1369–1384. [https://doi.org/10.15666/aeer/2002\\_13691384](https://doi.org/10.15666/aeer/2002_13691384)
- Yaseen, E., Yousry, M., Moussa, S. & Elgamal, A. (2014). Effect of Hydrogen Peroxide Foliar Spraying on Tuber's Quality of Three Potato Cultivars. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*, 1(1), 60–81. <https://doi.org/10.21608/jalexu.2014.160310>

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

\*Kávássy Gergely – Dr. Szabó András – Dr. Szabó Éva  
Debreceni Egyetem MÉK  
Növénytermesztési, Nemesítési és Növénytechnológiai Intézet, Debrecen  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032  
\*kavassy.gergely@agr.unideb.hu

