

Az aszálystressz csökkentésének lehetőségei különböző levélkezelésekkel burgonyában (*Solanum tuberosum*)

KÁVÁSSY GERGELY - SZABÓ ANDRÁS - SZABÓ ÉVA

Debreceni Egyetem MÉK

Növénytermesztési, Nemesítési és Növénytechnológiai Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A klímaváltozás hatására egyre gyakrabban és erőteljesebben előforduló abiotikus stresszfaktorok, különösen az aszály és a hőstressz, jelentős kihívások elé állítják a burgonyatermesztést. Kutatásunk célja az volt, hogy megvizsgáljuk a különböző öntözési sémák, valamint levélkezelések – szalicilsav, szilícium, hidrogén-peroxid és mikroelemek – hatását a burgonya fiziológiai paramétereire, terméshozamára és minőségi jellemzőire aszályos körülmények között. A 2024-es tenyészidőszakban Sonkádön (Magyarország) végzett szabadföldi kísérletünkben a közepesen kései Manitou fajtát használtuk. A vizsgálat során kettő öntözési dózist és négyféle levélkezelést teszteltünk split-plot elrendezésben. Az eredmények alapján a teljes és az 50%-os öntözés szignifikánsan növelte a sztomatikus vezetőképességet, az NDVI-t, levélterület-indexet és terméshozamot. A levélkezelések közül a szilícium és a hidrogén-peroxid kedvezően befolyásolta a relatív v-klorofilltartalmat és az NDVI-t, de nem eredményezett szignifikáns hozamnövekedést. A szalicilsavval, mikrokomplexszel, szilíciummal és a teljes dózismennyiséggel végzett kezelések szignifikánsan növelték a keményítőtartalmat, míg a szilícium alkalmazása fokozta a redukálócukor-tartalom mennyiségét. Első éves kísérleti eredményeink arra mutatnak rá, hogy az öntözés nélkül alkalmazott levélkezelések csak esetlegesen képesek enyhíteni a vízhiány negatív életteni hatásait, de a jelentős termés- és minőségjavulás eléréséhez az öntözés elengedhetetlen. A kutatás hozzájárulhat az aszálytűrés fokozását célzó technológiai fejlesztésekhez a burgonyatermesztésben, ugyanakkor további kísérletek szükségesek.

Kulcsszavak: burgonya, aszály, hőstressz, klímaváltozás, levélkezelések

Possibilities for reducing drought stress in potatoes (*Solanum tuberosum*) through various foliar treatments

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

Abiotic stress factors, especially drought and heat stress, which are becoming more frequent and intense due to climate change, pose significant challenges to potato production. The aim of this research was to examine the effects of different irrigation schemes and foliar treatments – salicylic acid, silicon, hydrogen peroxide, and microelements – on the physiological parameters, yield, and quality characteristics of potatoes under drought conditions. In a field experiment conducted in Sonkád (Hungary) during the 2024 growing season, a medium-late Manitou variety was used. During the study, two irrigation doses and four types of foliar treatments were tested in a split-plot design. Based on the results, full and 50% irrigation significantly increased stomatal conductance, NDVI, leaf area index, and yield. Among the foliar treatments, silicon and hydrogen peroxide had a positive effect on relative chlorophyll content and NDVI, but did not result in a significant increase in yield. Treatments with salicylic acid, microcomplex, silicon, and the total dose significantly increased starch content, while the application of silicon increased the amount of reducing sugar content. The results of the first year of experiments indicate that foliar treatments applied without irrigation can only occasionally mitigate the negative physiological effects of water deficiency, but irrigation is essential to achieve significant improvements in yield and quality. The research may contribute to technological developments aimed at increasing drought tolerance in potato production, but further experiments are needed.

Keywords: potatoes, drought, heat stress, climate change, leaf treatments

Bevezetés

A klímaváltozás által okozott abiotikus stresszfaktorok kihívások elé állítják a burgonyatermesztést (Nasir és Tóth 2022). Az emelkedő hőmérséklet, a hőstressz, az egyre hosszabban és gyakrabban jelentkező aszályok, valamint az időjárási szélsőségek rontják az ágazat kilátásait. A burgonyatermesztés földrajzi határának északra tolódása lehetővé teszi új termőterületek bevonását, ezzel egyidejűleg a jelentkező vízhiány csökkenti az elérhető termések (gumóhozam) nagyságát (Daccache et al. 2011). Egyes földrajzi régióban a klímaváltozás hatására bekövetkező csapadékcsökkenés következtében az öntözés elkerülhetetlenné válik (Cantore et al. 2014). Valószínűsíthető, hogy a jelenlegi öntözés nélküli területeken a terméshozamok fenntartásához az öntözés elengedhetetlenné válik, ami megdrágítja a termelést (Daccache et al. 2011). Ezt a vélekedést látszik megerősíteni Ábrahám (2005) kutatása, miszerint száraz évjáratban öntözéssel akár 66%-os terméstöbblet érhető el. Zsom (2006) kutatásai alapján az öntözés száraz évjáratban akár 70–80%-kal is növelheti a termésmennyiséget. Az Országos Meteorológiai Szolgálat időjárási adatai alapján hazánk arra a területre esik, ahol egyre nehezebbé válik a burgonyatermesztés (Met.hu 2024ab).

A burgonya számára azok a termőhelyek előnyösek, ahol a legmelegebb nyári hónapok középhőmérséklete 15–21 °C között alakul. Vízigénye a tenyészidőben 50–60 t/ha körüli termés eléréséhez 500–600 mm, ebből június-július hónapokban 300–350 mm (Sárvári 2022).

A hőmérsékletváltozás negatív hatásai

A növekvő hőmérséklet csökkenteni fogja a várható hozamokat, de meg kell jegyezni, hogy a csökkenés mértéke függ a termőterülettől (Hijmans 2003). Levy és Veilleux (2007) szerint a 30 °C feletti hőmérséklet számos negatív hatással bír, pl. lassabb gumóképződés és növekedés, kisebb mértékű keményítő felhalmozódás, barna foltok a gumókon és a gumók dormáns állapotának lerövidülése. Kései fagyhatás esetében a burgonya növekedése lassulhat, valamint a gumók sérülhetnek (Haverkort és Verhagen 2008).

Az aszály káros hatásai

Kizárólag a megfelelő talajnedvesség mellett várható a burgonyától magas terméshozam. A burgonya hatékonyan hasznosítja a vizet, ugyanakkor különösen érzékeny annak hiányára, a sekély gyökérrendszere akadályozza a mélyebb talajrétegekből való vízfelvételt (Van Loon 1981). A burgonya gyökérhossza és a termés nagyság között pozitív korreláció figyelhető meg (Lahlou és Ledent 2005). Az aszály mind morfológiai, mind pedig fiziológiai szinten erősen negatív irányban befolyásolja a növény fejlődését. Ezen változások közé tartoznak például az alábbiak: a terméshozam visszaesése, a gumószám csökkenése, a levélterület csökkenése, a sztómák záródása vagy pedig a fotoszintézis szintjének csökkenése (Schafleitner et al. 2007, Rodríguez-Pérez et al. 2017). Az aszály általánosságban rontja növény teljesítményét. A gumószám és a terméshozam csökkenésében szerepet játszó fő tényezők, az aszály hossza és annak mértéke, továbbá, hogy az a növény mely fenológiai állapotában következik be (Stark et al. 2013, Aliche et al. 2018, Plich et al. 2020). A burgonya a fejlődésének korai stádiumaiban sokkal jelentősebben ki van téve az aszály okozta káros hatásoknak. A korai fejlődési állapotokban az aszály csökkenti a levélterület nagyságát, a fotoszintézis szintjét és az asszimiláció mértékét, ami a gumóképződés, gumónövekedés és ezek által a termés nagyság teljesítménymutatóit rontják (Evers et al. 2010, Obidiegwu et al. 2015). Aliche et al. (2020) igazolta, hogy aszály különösképp károkat okoz a sztóló és a gumóképződés időszakában. Az aszály a sztómák bezáródását idézi elő, aminek fennállása szubsztrátum hiányossá teheti a Calvin-ciklust, ezáltal blokkolva az asszimilációt (Pinheiro 2011). Michel et al. (2019) kutatásai alapján azt állapították meg, hogy az aszály szignifikánsan csökkentette a levélterület-indexet (LAI). Mahmud et al. (2014) kísérletükben megállapították, hogy a vízhiányos burgonyanövények alacsonyabb SPAD értékeket mutattak, mint a közepesen és a jól öntözött parcellákon termesztett növények. Az aszály a beltartalmi értékekre is hatást gyakorol, mint például a keményítőtartalom. Rudack et al. (2017) és Ma et al. (2024) egyaránt arra megállapításra jutottak, hogy a vízhiány csökkenti a keményítő felhalmozódás mértékét. A hőstressz hatással van terméshozamra és a gumók minőségére, mint pl. deformitások, másodlagos növekedés (Rykaczewska 2013). A hőstressz megrövidítheti a gumók dormáns állapotát (Levy és Veilleux 2007). Rykaczewska (2015) szerint az aszály és a hőstressz

együttes jelenléte az érzékeny fajták esetében 50%, a kevésbé érzékeny fajtáknál pedig 25% termés kiesést eredményezhet. *Levy* (1986) is hasonló következtetésekre jutott, miszerint a hőstressz aszály jelenlétében okozza a legnagyobb termés kiesést. *Lazarević et al.* (2022) kísérletükben azt mérték, hogy a LAI szignifikánsan csökkent a hőmérséklet növekedésével. *Zhang et al.* (2022) melegházban végzett kísérletének eredményei szerint, hőstressz hatására a növények magassága 60%-ot meghaladó mértékben növekedett, a SPAD értékek akár 65%-kal emelkedtek, míg a (LAI) csökkent, a legnagyobb gumók tömege pedig 90% fölött csökkent.

Az utóbbi években az időjárási anomáliák hatásai egyre nyilvánvalóbbá váltak, az erre való reakciót tükrözi a gazdaság igénye alternatív megoldásokra, amire a tudomány az elmúlt 15 évben intenzíven reflektált. Ennek következtében az aszály és a hőstressz negatív hatásainak csökkentésére irányuló kutatások fókuszába kerültek a különböző anyagokkal végzett levélkezelések mitigáló hatása. Korábbi kísérletek már igazolták a hidrogén-peroxid, szilícium, szalicilsav és mikroelem levélkezelések aszályra gyakorolt enyhítő hatásait. Kutatásunk során ezen anyagok hatékonyságát értékeltük egy olyan helyszínen, ahol egyaránt megnyilvánul az aszály és a hőstressz. Célkitűzéseink az alábbiak voltak:

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

Anyag és módszer

Kísérleti helyszín és időjárási viszonyok

A kísérlet Sonkád településen, (Magyarország, 48° 3' 0" É, 22° 45' 0" K) került beállításra a 2024-es tenyészidőszakban, hazánk Észak-Alföld régiójában, a Szatmári-síkságon, száraz-kontinentális éghajlati viszonyok között, ahol a vegetációs időszakban az összes lehullott csapadékmennyiség 206,8 mm volt. Megjegyezzük, hogy a májusi és júniusi csapadékmennyiség a kísérlet évében meghaladja a 30 éves átlagot (1. táblázat). A kísérlet agyagos-vályog talajon volt beállítva, a területen korábban intenzív zöldségtermesztés folyt.

1. táblázat. A 2024. évi vegetációs időszakban mért csapadék és középhőmérséklet adatai, valamint az 1991–2020 közötti középhőmérséklet és csapadékátlag

	Május (1)	Június (2)	Július (3)	Augusztus (4)
Középhőmérséklet (°C) 2024. év (5)	17,5	21,6	24,3	23,5
Országos átlagos havi középhőmérsékletek (°C) (1991–2020) (6)	15,8	18,9	20,5	20,1
Csapadék (mm) 2024. év (7)	86,0	90,8	15,6	14,4
Országos átlagos havi csapadékösszegek (mm) (1991–2020) (8)	64	72	71	59

Forrás: *Met.hu* (2024ab), a ki sérleti helyszíni nre telepítet mérőállomás adatai (2024) alapján.

Table 1. Precipitation and average temperature data measured during the 2024 growing season, as well as average temperature and precipitation averages between 1991 and 2020. (1) May, (2) June, (3) July, (4) August, (5) Mean temperature (°C) for 2024, (6) National monthly average temperatures (°C) (1991–2020), (7) Precipitation (mm) for 2024, (8) Monthly precipitation sums (mm) (1991–2020), Source: *Met.hu* (2024ab) based on data from the weather station set up at the test site (2024).

Időjárás

A 2024-es év a középhőmérsékletek tekintetében mind a június, július és augusztus hónapokban meghaladta az 1991–2020 időszak átlagát, ami a burgonya számára nem optimális. A csapadékmennyiségek tekintetében a 2024 május és június hónapokban a csapadék meghaladta az 1991–2020 évek átlagát, ám a július és augusztus hónapok az 1991–2020 közötti időszak átlagától jelentős nagyságrendekkel elmaradtak, így elmondható, hogy a burgonya számára a tenyészidőszak csapadékmennyisége nem volt optimális (*1. táblázat*). A ki sérlet időszaka forró időjárást hozott, a július és az augusztus hónapokban pedig erőteljes aszály is jelentkezett.

Kísérleti beállítás és tesztnövény

A ki sérlet split-plot elrendezésben került beállítáásra. Három öntözési sémát alkalmaztunk: öntözés nélküli, teljes dózissal öntözött és 50% mennyiségű

dózissal öntözött. Az öntözési sémák mellett négy levélkezelést alkalmaztunk, melyek az alábbiak voltak: szilícium, hidrogén-peroxid, mikroelem és szalicilsavas – ezeket csak öntözetlen sémában alkalmaztuk. Összesen hét fajta kezelést végeztünk négy ismétlésben.

A szilíciumot az Optysil formájában használtuk, amely aktiválja a növények természetes védekezőmechanizmusait a stresszhatásokkal szemben, valamint serkenti azok növekedését és fejlődését. Az Optysil 200 g SiO₂-t (16,5 m/m%) és 24 g Fe-t (2 m/m%) tartalmaz 1 dm³-ben, nátrium-metaszilikát (Na₂SiO₃) és vas-kelát (Fe-EDTA) formájában. A kísérletünkben az Optysilt az ajánlott dózisban alkalmaztuk, ami 0,5 dm³/ha. A hidrogén-peroxidot (H₂O₂) (3%-os) 1 mM-os vizes oldat formájában használtuk a kezelésekhöz. A mikroelemek a Solvitis Mikrokomplexet 1 dm³/ha mennyiségben juttattuk ki. A következő mikroelemeket tartalmazta az készítmény: kén 8,9 m/m% SO₃, réz 1,9 m/m%, mangán 1,5 m/m%, cink 2,9 m/m%, molibdén 0,04 m/m%. A Cu, Mn, Zn lignoszulfonát komplex formájában található az oldatban. A szalicilsav (SA) 99,7%-os tisztaságú volt, SA-ra 2,02 mM koncentrációjú vizes oldatban használtuk.

Az első kezelést a kelés utáni 30. napon hajtottuk végre, majd azt követően 21 naponként még két alkalommal.

Az öntözésekre három alkalommal (2024. 06. 18., 2024. 07. 08., 2024. 07. 16.) került sor. Alkalmanként 30 mm öntözési normát alkalmaztunk. A kísérlethez egy közép-késői érésű fajtát, a Manitou-t használtuk, amely vegyes felhasználásra alkalmas, a Desiree fajta továbbfejlesztett változata. Amely eredményesen termesztendő a hazai klímán. A vetés előtt Force 1,5 g készítményt dolgoztunk a talajba a talajlakó kártevők elleni védekezés céljából. Ezzel egyidőben N: 150 kg/ha P₂O₅: 70 kg/ha és K₂O: 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 a bakhátat véglegesen kialakítottuk. A másodlagos bakhát kialakítása 2025. 05. 11-én történt meg, ezután került sor a gyomirtásra, amelyhez Mistral 700 WDG metribuzin tartalmú gyomirtószer került felhasználásra 0,5 kg/ha dózisban. A gombás betegségek megelőzésére Champion réztartalmú készítményt használtunk, míg kuratív kezelésként Kupfer Fusilan került kijuttatásra. A burgonyabogár (*Leptinotarsa decemlineata*) ellen Benevia készítményt használtunk.

Mért paraméterek, mérés technika

A mérések és adatgyűjtés az első kezelés után 10 nappal kezdődtek. Az alábbi paramétereket mértük: sztomatikus vezetőképesség (SC-1 Leaf Porometer), relatív klorofilltartalom SPAD érték formájában Konica Minolta SPAD-502 Plus, NDVI érték GreenSeeker Handheld Crop Sensor, a levélterület index, LEAF AREA INDEX meghatározása LAI 2200C SS1 SunScan plant canopy analysis system alkalmazásával történt. A mérések esetében az alábbi metodikát alkalmaztuk: három fenológiai fázisban: virágzás előtt, teljes virágzásban és virágzás után végeztük el a mérést. Minden egyes felvételezési időpontban parcellánként 10 db SPAD mérés átlagát használtuk. 4 különböző helyen mértünk levélterület indexet parcellán belül, ezen számok átlagát vettük. Sztomatikus vezetőképesség 2 db, alsó és felső levél mérése, kapott értékek átlagát alkalmaztuk. Parcellánként 20 db NDVI mérést végeztünk, az így kapott 20 érték átlagával dolgoztunk.

A betakarítást követően a gumók tömegét minden parcellán lemértük, valamint parcellánként két növény esetében megszámláltuk a gumószámot, illetve méret szerint osztályoztuk, hogy mennyi a piacos gumók száma. Minden parcella termésén elvégeztük a redukáló cukortartalom mérését. Ezt tesztsíkok (Potato test strips) használatával tettük meg, parcellánként öt gumón. Az így kapott eredményeket átlagoltuk. A nedvesség- és az egyéb illóanyag-tartalom meghatározására laboratóriumi mérést végeztettünk el (MSZ EN ISO 6496:2001). A keményítőtartalom mérése az Ewers-féle polarimetriás módszerrel (ISO 10520:1997) történt.

Adatelemzés módszertana: statisztikai adatelemzés

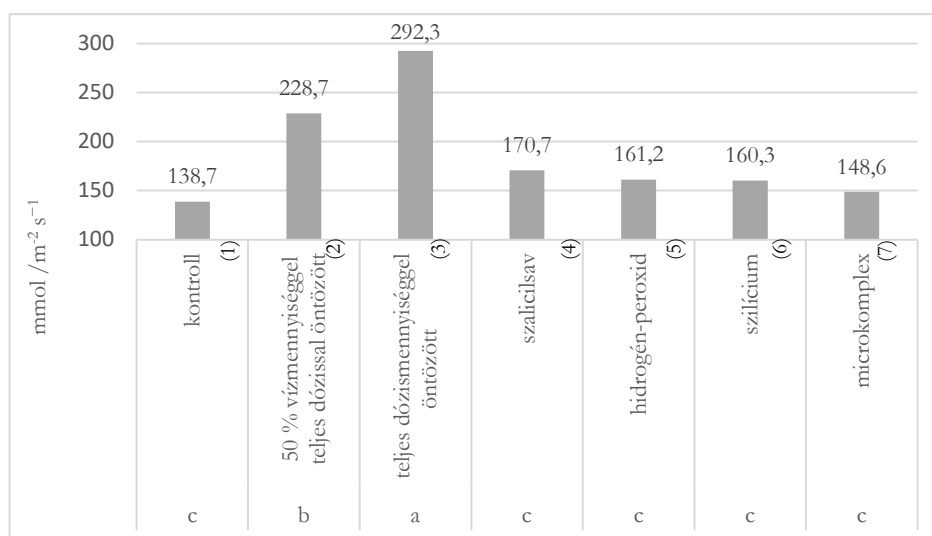
Az egytényezős varianciaanalízist R 4.5. statisztikai környezetben RStudio grafikus felülettel „gplots” és „agricolae” csomagok használatával végeztük. Az ábrákat Ms Excel Verzió:2506 program segítségével készítettük.

Eredmények és értékelés*A kezelések hatása egyes fiziológiai paraméterekre**A sztomatikus vezetőképesség*

A sztomatikus vezetőképességet az aszály kedvezőtlenül befolyásolja. A kísérleti adatok alapján mindkét öntözési séma, a teljes dózismennyiséggel öntözött

és az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés egyaránt szignifikánsan nagyobb értékeket produkált, mint a kontroll (1. ábra).

1. ábra. A különböző kezelések hatása a sztomatikus vezetőképességre



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

Figure 1. The effect of different treatments on stomatal conductance. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

Az öntözött és az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelések rendre 110% és 65%-kal haladták meg a kontrollt, ugyanakkor a teljes dózismennyiséggel öntözött szignifikánsan magasabb eredményt mutatott, mint az 50% vízmennyiséggel öntözött. A szalicilsav, a hidrogén-peroxid, valamint a szilícium és a microkomplex kezelések a kontrollhoz képest nem eredményeztek szignifikánsan magasabb értékeket.

Az öntözött kezelések szignifikáns pozitív hatásának oka, hogy az öntözött parcellák jó vízellátása mellett nem szenvedtek a vízhiány állapotától, így a sztómák záródása elmaradt. A sztómák zárt állapota jelzi, amikor a növény stressz hatása alatt áll, azaz a növényi stressz indikátora (Farquhar és Sharkey 1982). Ennek értelmében a kontroll, a szalicilsav, a hidrogén-peroxid, a

szilícium és a mikrokomplex kezelésekben részesített növények stressz jelét mutatták. A sztómák nyitottságát vizsgálva az általunk végzett vizsgálatoknál nem érvényesül az *Acevedo et al. (2023)* által tett megállapítás, miszerint a szalicilsavval végzett levélkezelések hasznosnak bizonyultak burgonya kultúrában az aszály által okozott tünetek enyhítésében, ennél fogva hatékony kezelés a vízhiány enyhítésére. *Faralli et al. (2019)* szerint a sztomatikus vezetőképesség az egyik meghatározó faktora a terméshozadáshoz.

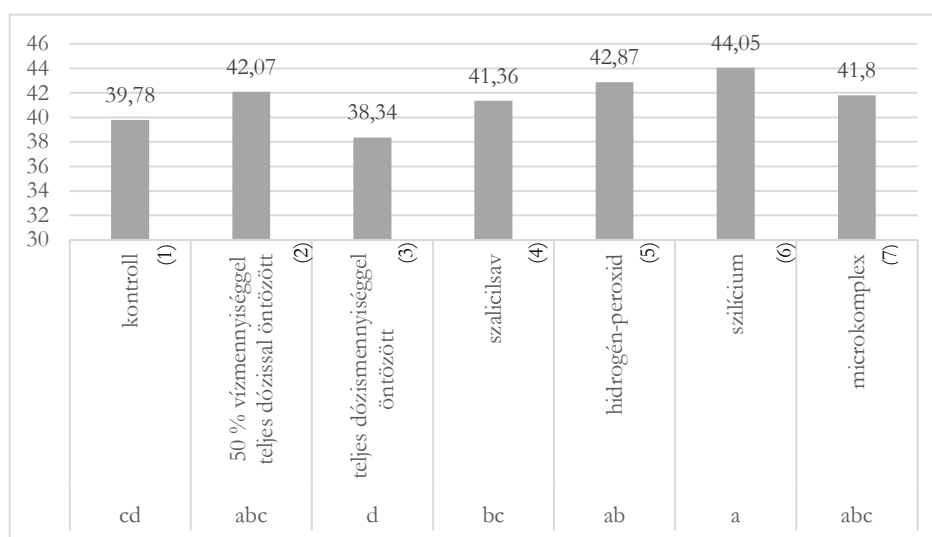
Relatív klorofilltartalom (SPAD)

A mérési eredmények alapján a legmagasabb SPAD értéket a szilícium kezelés eredményezte (2. ábra). A szilícium és a hidrogén-peroxid kezelések szignifikánsan nagyobb értéket eredményeztek, mint a kontroll. Az 50% vízmennyiséggel öntözött, valamint a teljes dózismennyiséggel öntözött szignifikánsan nem különböznek a kontrolltól. Az 50% vízmennyiséggel öntözött szignifikánsan magasabb SPAD értéket mutatott, mint a teljes dózismennyiséggel öntözött. A szalicilsav és a mikrokomplex kezelések a kontrollhoz képest szignifikáns különbséget nem mutattak. A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés minden egyéb kezeléshez képest szignifikánsan alacsonyabb eredményt mutatott.

A szilícium esetében ennek oka lehet, hogy aszály hatása alatt alkalmazott szilícium levélkezelések segítenek a fotoszintetikus pigmentek - klorofill-a, klorofill-b és karotinoid- tartalom fenntartásában *Lobato et al. (2009)*. *Chen et al. (2011)* szerint a szilícium képes enyhíteni az aszály fotokémiai reakciókra gyakorolt káros hatásait. A hidrogén-peroxid nem közvetlenül építőanyagként vesz részt a klorofillszintézisben, hanem indukálja azokat a biokémiai és génexpressziós folyamatokat, amelyek a klorofill-a és -b szintéziséhez szükségesek, különösen stressz (pl. aszály) alatt (*Barzotto et al. 2023*.) A vizsgálatban a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés szignifikánsan alacsonyabb SPAD értéket eredményezett. Ez esetlegesen a túlóntözés kedvezőtlen élettani hatásaira vezethető vissza. A túlzott vízellátás következtében a talaj levegőtlené válhat, ami hipoxiás állapotot idéz elő a gyökérszónában, gátolva ezzel az ionfelvételt és a nitrogén hasznosulását (*Taiz et al. 2015*). Emellett a túlóntözés elősegítheti a nitrátok kimosódását, különösen könnyű vagy homokos talajokon, ezáltal csökkentve a levelek klorofilltartalmát, amelyet a SPAD érték tükröz (*Fageria et al. 2008*). Mivel a

kísérlet közép-kötött talajon volt beállítva, így ennek lehetősége kisebb. A hígabb talajoldat és a felborult tápanyagarányok tovább ronthatják a növény tápanyag-ellátottságát, különösen a klorofillszintézishez szükséges elemek (pl. Mg, Fe) elérhetőségét. Mindezek eredményeképpen a túl nagy vízdózis nem feltétlenül javítja a fotoszintetikus aktivitást, sőt kedvezőtlen hatással lehet a növény nitrogénállapotára és klorofiltartalmára is.

2. ábra. A különböző kezelések hatása a SPAD értékekre



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

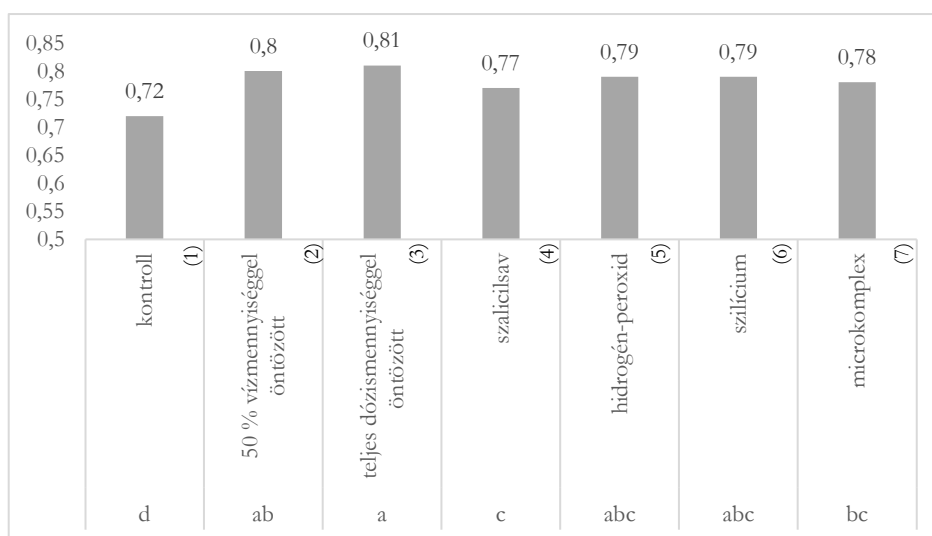
Figure 2. The effect of different treatments on SPAD readings. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

NDVI

Az általunk végzett mérések alapján a legmagasabb NDVI értéket a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelése eredményezte, ezt követte az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés, mindkettő szignifikánsan nagyobb NDVI értéket produkált, mint a kontroll kezelés (3. ábra). A szalicilsav, a szilícium, a hidrogén-peroxid és a mikrokomplex szignifikánsan nagyobb eredményt mutattak, mint a kontroll kezelés. A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés,

az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés, valamint a hidrogén-peroxid és szilícium kezelések között nincs szignifikáns statisztikai különbség.

3. ábra. A különböző kezelések hatása az NDVI értékekre



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

Figure 3. The effect of different treatments on NDVI values. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

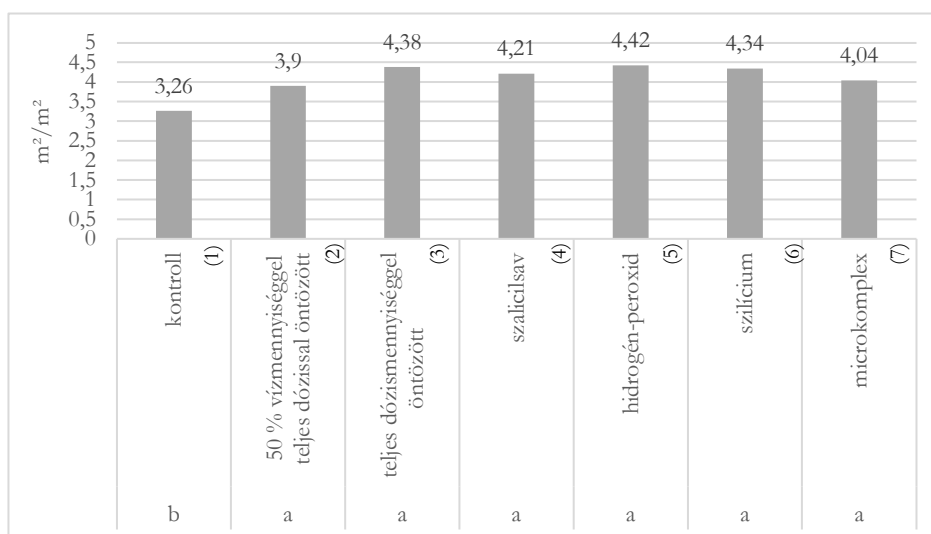
Megállapítható, hogy a szilíciummal és a hidrogén-peroxiddal kezelt növények ugyanannyira egészségesek voltak és jó fotoszintézis szinttel bírtak, mint az öntözött kezelések. *Biswal et al. (2025)* szerint az NDVI értékek és a terménység között erős korreláció figyelhető meg burgonya kultúrában. Ezt látszanak erősíteni az öntözött kezelések NDVI és terméseredményei (3. és 5. ábra). Más kezelések esetében ez ebben a kísérletben nem nyert bizonyítást.

Levélterület-index (LAI)

Az általunk elvégzett mérések értelmében a LAI értékek esetében minden kezelés szignifikánsan magasabb értéket eredményezett, mint a kontroll,

illetve a kontrollon kívül a kezelések között nem volt szignifikáns különbség, azaz egy szignifikancia csoportba tartoztak (4. ábra).

4. ábra. A különböző kezelések hatása a LAI-ra



Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok P<0,05 szinten különböznek.

Figure 4. The effect of different treatments on LAI. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the P<0.05 level.

A teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés eredményezte a legmagasabb értéket. Ennek oka, hogy a megfelelő vízmennyiség mellett a növény számára biztosított volt az adekvát mértékű tápanyagfelvétel, ezáltal a fotoszintézis és a vegetatív részek fejlődése, így a levélterület növekedése.

Az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés esetében bár a csupán az öntözőmennyiség fele került kijuttatásra, de ez elegendőnek bizonyult a megfelelő mennyiségű tápanyag biztosításához, illetve a levélterület fejlődéséhez.

A szalicilsav kezelés esetében a kontrolltól szignifikánsan nagyobb eredmény annak tudható be, hogy a szalicilsav szignálmolekulaként segíti a növényeket stresszhelyzetekben, valamint fokozza a klorofilltartalmat,

fotoszintézist és a levélképződést (*Khan et al.* 2015). A hidrogén-peroxiddal végzett kezelés szintén szignifikánsan magasabb értéket eredményezett, mint a kontroll. Stressz hatása alatt az alacsony koncentrációban jelenlévő hidrogén-peroxid szignálmolekulaként működik, és aktiválja a sejtvédelmi mechanizmusokat, javítva a növekedést (*Neill et al.* 2002). A szilícium szintén szignifikánsan magasabb számértéket produkált a kontrollhoz képest. *Gong et al.* (2005) kutatása szerint a szilícium serkenti az antioxidáns védekezést, miközben fenntartja a fotoszintézis szintjét. A mikrokomplex kezelés szintén szignifikánsan a kontroll kezelés felett teljesített. A mikroelemek – különösen a Zn, Fe, Cu és Mn – szerepet játszanak a klorofillszintézisben, az enzimatis antioxidáns védelmi rendszer működtetésében és az oxidatív stressz csökkentésében, ami különösen fontos száraz körülmények között (*Broadley et al.* 2012).

Terméshozam

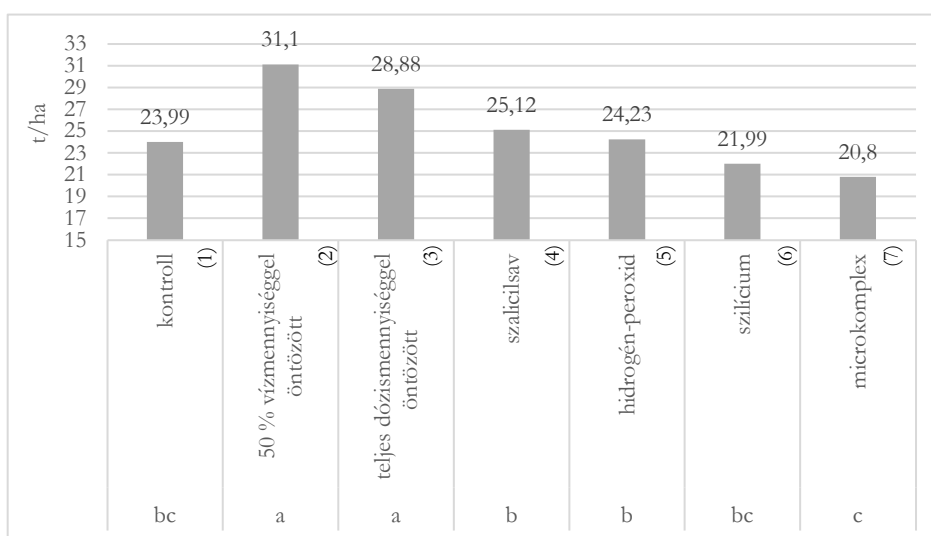
A kísérletünk keretein belül a legnagyobb terméshozamot a teljes dózismennyiséggel és 50% vízmennyiséggel öntözött kezelések eredményezték, melyek a kontroll értéket rendre 17%-kal, 23%-kal haladták meg, ugyanakkor a két kezelés között szignifikáns különbség nem volt (5. ábra). A szalicilsav, a hidrogén-peroxid, valamint a szilícium és a mikrokomplex kezelések a kontrollhoz képest nem eredményeztek szignifikáns hozamnövekedést.

A szalicilsavas kezelés kapcsán *Metwaly és El-Shatoury* (2017) és *El-Areiny et al.* (2019) által publikált hozamra gyakorolt növelő hatást az általunk végzett mérések nem igazolták, kísérletünkben a kontroll és szalicilsavas kezelések szignifikancia szempontjából azonos eredményt hoztak. A szilícium levélkezelések esetében *Crusciol et al.* (2009), valamint *Wadas és Debski* (2021) kutatásaiban mért termésmennyiség növelő hatást nem figyeltünk meg, az Optysillel (Na_2SiO_3) végzett permetező kezelések nem eredményeztek szignifikáns termésmnövekedést a kontrollhoz képest.

A nemzetközi szakirodalom beszámol a mikrokomplex levélkezelések hozamnövelő hatásáról (*Al-Fadhly* 2016, *Al-Jobori és Al-Hadithy* 2018, *Seleiman et al.* 2023). Az általunk végzett mérések nem mutatták ki a mikroelemekkel végzett levélkezelések hozamnövelő hatását. Megfelelő vízellátottság mellett, mint az a teljes dózismennyiséggel öntözött és az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelések esetében, megfigyelhető a terméshozam

és a sztomatikus vezetőképesség ábrák közötti hasonlóság. A sztomatikus vezetőképesség mértéke előrejelezte a terméshozamok trendjét (1. és 5. ábra).

5. ábra. A különböző kezelések hatása a terméshozamra



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

Figure 5. The effect of different treatments on yield. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

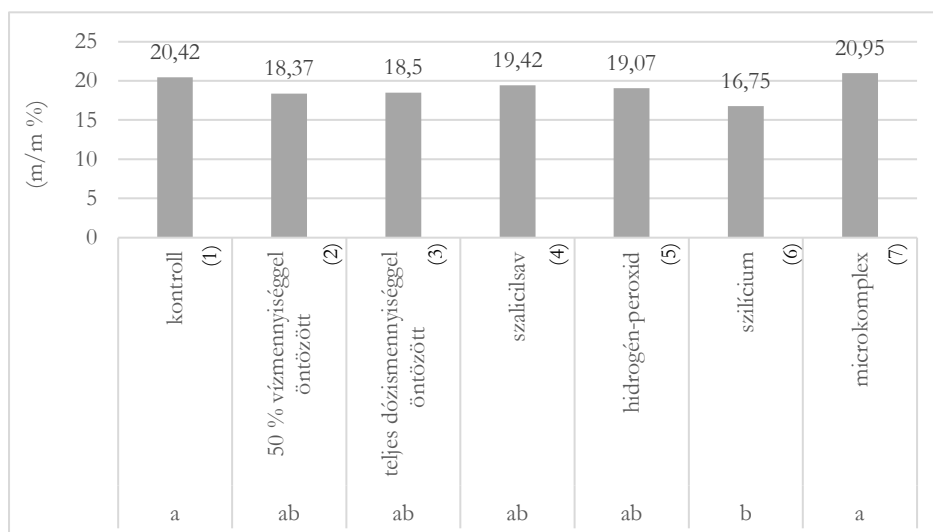
Beltartalmi mutatók

Szárazanyag-tartalom

A szilíciumkezelés volt az egyetlen, amely szignifikánsan alacsonyabb értéket eredményezett a kontrollhoz képest (6. ábra). A többi kezelés és a kontroll között nem volt szignifikáns különbség.

Pilon et al. (2014) szerint a szilíciummal végzett levélkezelések növelték a gumók szárazanyag-tartalmát, ennek az állításhoz ellentmondanak a kutatásunkban végzett mérések.

6. ábra. A különböző kezelések hatása a szárazanyag-tartalomra



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

Figure 6. The effect of different treatments on dry matter content. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

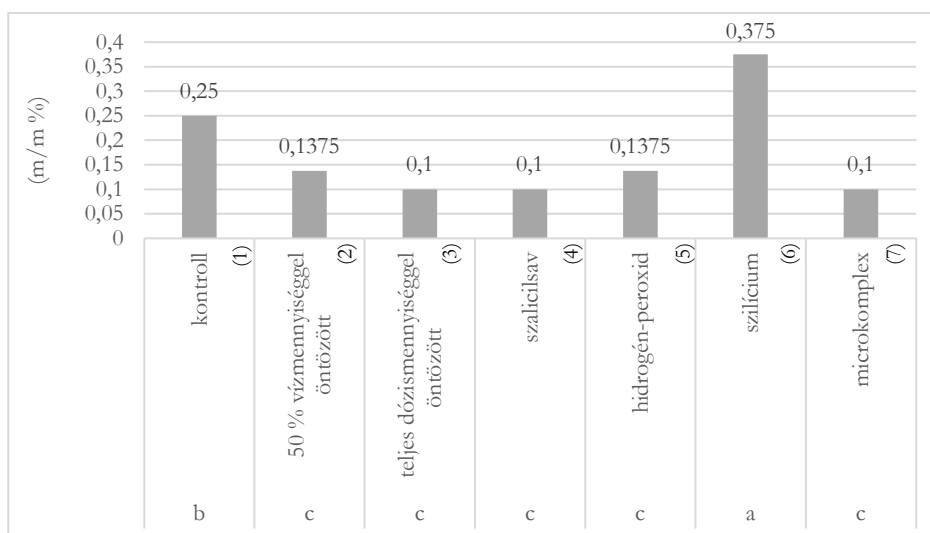
Redukálócukor-tartalom

A burgonya ipari felhasználása esetén az alacsony redukálócukor-tartalom az előnyös. Az eredmények azt mutatták, hogy a szilíciumkezelés szignifikánsan növelte a redukálócukor-tartalmat meghaladva minden más kezelés hatását (7. ábra). A kontroll kezelés szintén viszonylag magas redukálócukor-tartalmat mutatott, míg a teljes dózismennyiséggel és 50% vízmennyiséggel öntözött, a szalicilsav, hidrogén-peroxid, mikrokomplex kezelések szignifikánsan alacsonyabb értékeket eredményeztek.

A szilíciumkezelés redukálócukor-tartalomra gyakorolt hatása összhangban áll a korábbi kutatásokkal, amelyek szerint a szilícium szerepet játszhat a szénhidrát-anyagcsere szabályozásában és a stresszre adott válaszreakciókban (Gong et al. 2005, Kaya et al. 2006). A teljes dózismennyiséggel és 50% vízmennyiséggel öntözött, a szalicilsav, hidrogén-peroxid, mikrokomplex kezelések szignifikánsan alacsonyabb értékeket eredményeztek, mint a kontroll

kezelés – ez arra utalhat, hogy a vízstressz hatására a növények több cukrot halmoznak fel ozmotikus szabályozás céljából (Chaves et al. 2003).

7. ábra. A különböző kezelések hatása a redukálócukor-tartalomra



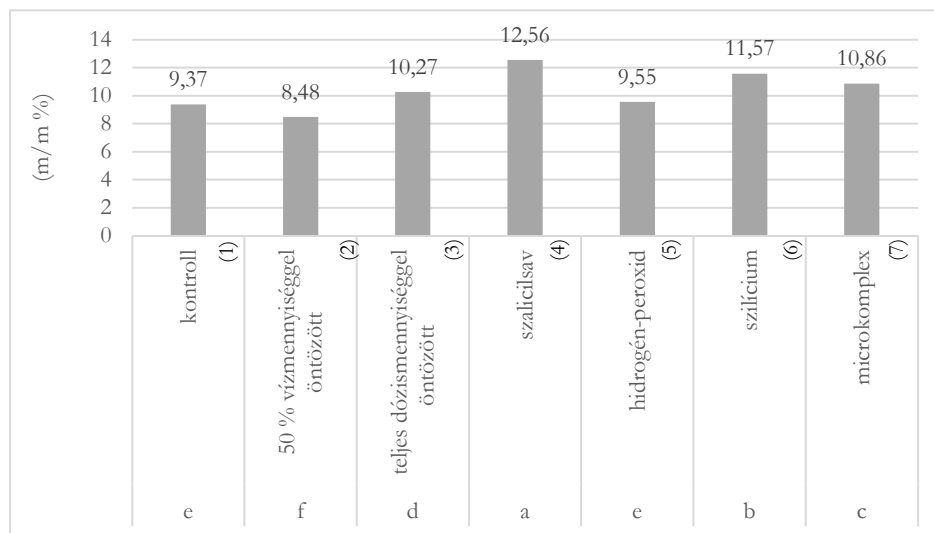
Megjegyzés: a különböző betűvel jelölt oszlopok $P < 0,05$ szinten különböznek.

Figure 7. The effect of different treatments on reducing sugar content. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

Keményítőtartalom

A kísérlet folyamán végzett mérések alapján elmondható, hogy a szalicilsavval végzett kezelés eredményezte a legnagyobb keményítőtartalmat, míg az 50% vízmennyiséggel öntözött pedig a legalacsonyabbat (8. ábra). A szalicilsavas, a szilícium, a mikrokomplex és a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelések egyaránt szignifikánsan magasabb eredményt produkáltak a kontrollhoz viszonyítva. A hidrogén-peroxid és a kontroll kezelések között szignifikáns különbség nem mutatkozott. Az 50% vízmennyiséggel öntözött kezelés keményítőtartalma a kontrollhoz képest szignifikánsan alacsonyabb.

8. ábra. A különböző kezelések hatása a keményítőtartalomra



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

Figure 8. The effect of different treatments on starch content. (1) Control, (2) Irrigated with a total dose of 50% amount of water, (3) Irrigated with the total dose, (4) Salicylic acid, (5) Hydrogen peroxide, (6) Silicon, (7) Microcomplex, Note: Columns marked with different letters differ at the $P < 0.05$ level.

A szalicilsav mellett a szilícium, a mikrokomplex és a teljes dózismennyiséggel öntözött kezelés is szignifikánsan magasabb keményítőtartalmat eredményeztek a kontrollhoz képest, ami a stresszcsökkentő és metabolikus folyamatokat támogató hatásuknak tudható be. A szalicilsavról ismert, hogy serkenti a fotoszintézist és a szénhidrát-anyagcserét, ezáltal fokozva a keményítő felhalmozódását (Khan et al. 2015). A szilícium szintén javítja a vízhasznosítást és csökkenti az oxidatív stresszt, ami elősegíti a tartalék tápanyagok akkumulációját (Guntzer et al. 2012). A mikroelemek – különösen a Zn, Fe és Mn – elengedhetetlenek az enzimatikus reakciókhoz és a keményítősintézisben részt vevő enzimek aktiválásához, ami kedvezően hat a gumók tartaléktápanyag-tartalmára (Broadley et al. 2012). Lopez-Delgado et al. (2005), Moussa et al. (2012) és Yaseen et al. (2014) egyaránt arra a konklúzióra jutottak, hogy a hidrogén-peroxiddal végzett levélkezelések hatására a gumók keményítőtartalma növekszik. Az általunk végzett kísérletben a hidrogén-peroxid keményítőtartalomra

gyakorolt pozitív hatását méréseinkkel nem tudtuk igazolni. Az 50%-os vízmennyiséggel öntözött vizsont a kontrollhoz képest szignifikánsan alacsonyabb keményítőtartalmat eredményezett, ami arra utal, hogy akár a részleges vízhány is korlátozza a fotoszintézis intenzitását és ezzel a keményítő szintézisét is (Farooq et al. 2009).

Következtetések

A kapott eredmények alapján elmondható, hogy az öntözés pozitív hatását az általunk alkalmazott kezelések – és alkalmazott dózisok – nem tudták kiváltani. Mind a teljes, mind a fél-dózisú öntözés a legtöbb vizsgált paraméterre szignifikáns pozitív hatást fejtett ki. Addig bizonyos mutatók esetében, mint keményítőtartalom vagy redukálócukor-tartalom, tapasztaltunk pozitív, illetve negatív hatást az egyes kezelések esetében. Azon célunk, miszerint az öntözés kedvező hatásait levélkezelésekkel váltsuk ki, további vizsgálatokat igényel. A vizsgálatok során az alkalmazott készítmények nagyobb dózisú és/vagy többszöri kezelésének kombinációit fogjuk tesztelni.

IRODALOM

- Ábrahám, É. B.–Sárvári, M.: 2005. The effect of the interaction between ecological, biological and agrotechnical factors on potato yield. *Cereal Res. Commun.* 33. 1: 145–148. <http://www.jstor.org/stable/23787638>.
- 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*. 9. 4: 87–91.
- Aliche, E. B.–Oortwijn, M.–Theeuwes, T. P. J. M.–Bachem, C. W. B.–Visser, R. G. F.–van der Linden, C. G.: 2018. Drought response in field grown potatoes and the interactions between canopy growth and yield. *Agricultural Water Management*. 206: 20–30. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.04.013>

- Aliche, E. B.–Theeuwes, 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.:* 2018. Response of Potato (*Solanum tuberosum*) to Foliar Application of Iron, Manganese, Copper, and Zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. IJ ACS/2014/7-7: 358–363.
- 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. 13059 <https://doi.org/10.1038/s41598-023-40388-y>
- Biswal, P.–Faisal, A.–Swain, D. K.–Bhowmick, G. D.–Mohan, G.:* 2025. NDVI is the best parameter for yield prediction at the peak vegetative stage of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Climate Smart Agriculture*. 2: 2.
- Broadley, M.–Brown, P.–Çakmak, İ.–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.
- Cantore, V.–Wassar, F.–Yamaç, S. S.–Sellami, M. H.–Albrizio, R.–Stellacci, A. M.–Todorovic, M.:* 2014. Yield and Water Use Efficiency of Early Potato Grown under Different Irrigation Regimes. *International Journal of Plant Production*. 8: 409–428.
- Chaves, M. M.–Maroco, J. P.–Pereira, J. S.:* 2003. Understanding plant responses to drought – from genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*. 30. 3: 239–264.
- 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: 949–954. <https://doi.org/10.2135/cropsci2008.04.0233>
- Daccache, A.–Weatherhead, E. K.–Stalham, M. A.–Knox, J. W.:* 2011. Impacts of Climate Change on Irrigated Potato Production in a Humid Climate. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151: 1641–1653.
- 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.

- Evers, D.-Lefèvre, I.-Legay, S.-Lamoureaux, D.-Hausman, J. F.-Rosales, R. O.-Tincopa Marca, L. R.-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: 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. Doi: 10.1080/01904160802116068
- Faralli, M.-Matthews, J.-Lawson, T.: 2019. Exploiting natural variation and genetic manipulation of stomatal conductance for crop improvement. *Current Opinion in Plant Biology*. 49: 1-7.
- Farooq, M.-Wahid, A.-Kobayashi, N.-Fujita, D.-Basra, S. M. A.: 2009. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. *Agronomy for Sustainable Development*. 29. 1: 185-212. <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>
- Farquhar, G. D.-Sharkey, T. D.: 1982. Stomatal conductance and photosynthesis. *Annual Review of Plant Physiology*. 33: 317-345.
- 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.
- Guntzer, F.-Keller, C.-Meunier, J. D.: 2012. Benefits of plant silicon for crops: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 32: 201-213.
- Haverkort, A. J.-Verhagen, A.: 2008. Climate Change and Its Repercussions for the Potato Supply Chain. *Potato Research*. 51. 3-4: 223-237. DOI:10.1007/s11540-008-9107-0
- Hijmans, R. J.: 2003. The effect of climate change on global potato production. *American Journal of Potato Research*. 80: 271-279. <https://doi.org/10.1007/BF02855363>
- Kaya, C.-Tuna, A. L.-Higgs, D.: 2006. Effect of silicon on plant growth and mineral nutrition of maize grown under water-stress conditions. *Journal of Plant Nutrition*. 29. 8: 1469-1480.
- 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: 462. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00462>
- Lahlou, O.-Ledent, J. F.: 2005. Root Mass and Depth, Stolons and Roots Formed on Stolons in Four Cultivars of Potato under Water Stress. *European Journal of Agronomy*. 22: 159-173.
- Lazarević, B.-Carović-Stanko, K.-Safner, T.-Poljak, M.: 2022. Study of High-Temperature-Induced Morphological and Physiological Changes in Potato Using Nondestructive Plant Phenotyping. *Plants*. 11. 24: 3534. <https://doi.org/10.3390/plants11243534>

- Levy, D.: 1986. Genotypic variation in the response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to high ambient temperatures and water deficit. *Field Crops Research*. 15: 85–96. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(86\)90103-6](https://doi.org/10.1016/0378-4290(86)90103-6)
- Levy, D.–Veilleux, R. E.: 2007. Adaptation of Potato to High Temperatures and Salinity: A Review. *American Journal of Potato Research*. 84. 6: 487–506. <https://doi.org/10.1007/bf02987885>
- 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.
- 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: 1829–1848. Doi: 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 well watered condition. *Global Journal of Science Frontier Research: D Agriculture and Veterinary*. (USA) ISSN 0975-5896. 14. 10: 101–107.
- Metwaly, E. E.–El-Shatoury, R. S.: 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*. Mansoura University. 8. 10: 969–977.
- Met.hu: 2024a. Magyarország hőmérsékleti viszonyai. 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
- 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. 10.21608/ASEJAIQJSAE.2012.3145
- Nasir, M. W.–Toth, Z.: 2022. Effect of drought stress on potato production: A review. *Agronomy*. 12. 3: 635. <https://doi.org/10.3390/agronomy12030635>
- 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.

- Obidiegwu, J.-Bryan, G.-Jones, G.-Prashar, A.*: 2015. Coping with drought: stress and adaptive responses in potato and perspectives for improvement. *Frontiers in Plant Science*. 6. 542. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00542>.
- 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>
- 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>
- 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: 463–477. <https://doi.org/10.1007/s11540-020-09451-3>.
- Rodríguez-Pérez, L.-Ñúñez, 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.-Köhler, 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. 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: 2386–2393. DOI:10.4236/ajps.2013.412295
- Rykaczewska, K.*: 2015. The effect of high temperature occurring in subsequent stages of plant development on potato yield and tuber physiological defects. *American Journal of Potato Research*. 92: 339–349. DOI:10.1007/s12230-015-9436-x
- Sárvári M.*: 2022. Burgonya. [In: Pepó, P. (szerk.) Integrált növénytermesztés II. Alapnövények.] 243–273.
- Schafleitner, R.-Gutierrez, R. R.-Espino, R.-Gaudin, A.-Pérez, J.-Martínez, M.-Domínguez, A.-Tincopa, M.-Luz, R.-Alvarado, C.-Numberto, G.*: 2007. Field Screening for Variation of Drought Tolerance in *Solanum tuberosum* L. by Agronomical, Physiological and Genetic Analysis. *Potato Research*. 50: 71–85. DOI: 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 SiO₂ Nanoparticles Mitigate Water Deficit and Enhance Potato Yield and Quality Traits. *Agronomy*. 13. 2: 466. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020466>.

- 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: 207–216. <https://doi.org/10.1007/s12230-012-9285-9>.
- Taiz, L.–Zeiger, E.–Møller, I. M.–Murphy, A.:* 2015. *Plant Physiology and Development*. 6th ed. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- Van Loon, C. D.:* 1981. The Effect of Water Stress on Potato Growth, Development, and Yield. *American Potato Journal*. 58: 51–69.
- Wadas, W. W.–Dębski, D.:* 2021. 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.
- Yaseen, E.–Yousry, M.–Moussa, S. A. M.–El-Gamal, A.:* 2014. Effect of hydrogen peroxide foliar spraying on tuber's quality of three potato cultivars. *Journal of the Advances in Agricultural Researches*. 19. 1: 60–81. Doi: 10.21608/JALEXU.2014.160310
- Zhang, P.–Yang, X.–Manevski, K.–Li, S.–Wei, Z.–Andersen, M. N.–Liu, F.:* 2022. Physiological and Growth Responses of Potato (*Solanum tuberosum* L.) to Air Temperature and Relative Humidity under Soil Water Deficits. *Plants*. 11. 9: 1126. <https://doi.org/10.3390/plants11091126>.
- Zsom E.:* 2006. Fajtaspecifikus burgonyatermesztési technológiák továbbfejlesztése. PhD Thesis. University of Debrecen. Debrecen.

A szerzők levelezési címe – Address

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