

Tápoldatozás gyakoriságának hatása az 'Ausztráliai sárga' tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) fejlődésére aeropónikus termesztés esetén

GORLICZAY EDIT - MONTVAI KORNÉLIA - TAMÁS JÁNOS - NAGY ATTILA
Debreceni Egyetem MÉK
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen

Összefoglalás

A saláta számos kutató érdeklődését felkeltette beltéri kísérletek során. Ezért a kutatásunk során az 'Ausztráliai sárga' tépősalátát (*Lactuca sativa* var. *crispa*) választottuk tesztnövénynek. Az aeropónikus rendszerekben a fűvőkák cseppmérete, a tápoldat kijuttatásának intenzitása, valamint a fény intenzitása, minősége a legfontosabb paraméterek, melyek befolyásolják a növény morfológiai és beltartalmi paramétereit. Mindezek alapján kutatásunk során a célunk az volt, hogy meghatározzuk a különböző tápoldatozási gyakoriságok hatását az aeropónikusan termesztett tépősalátára. Az aeropónikus rendszerben (AeroFlo20) négy kezelést állítottunk be – 1. kezelés – napi 10×15 perc, 2. kezelés - napi 8×8 perc, 3. kezelés – napi 4×15 perc, 4. kezelés – napi 2×30 perc. A kísérlet öt hétig tartott, amely során mértük a levélszám (db/tő), és a gyökérhossz (cm) alakulását, valamint destruktív módszerrel meghatároztuk az összes klorofill- (µg/g) és karotinoid-tartalmat (µg/g), a vízpotenciál (bar) és a stressz-paraméterek (Fv/Fm, Fv/Fo) alakulását. Eredményeink alapján megállapítható, hogy az 'Ausztráliai sárga' tépősaláta esetén a tápoldatozási gyakoriság csökkenésével a levélszám, a növénymagasság és a gyökérhossz nőtt, tehát naponta kétszer 30 perc tápoldatozás elegendő, ha ezen paramétereket vesszük figyelembe. Vízpotenciál esetén a legtöbb napi tápoldatozású (napi 10×15 perc) kezelés esetén szignifikánsan magasabb értékeket kaptunk ($-3,72 \pm 0,33$ bar), mint azon kezelésnél, melyben a növények naponta kétszer kaptak tápoldatot ($p < 0,05$).

Kulcsszavak: aeropónia, tépősaláta, talajnélküli termesztés, tápoldatozás

Effects of fertilisation frequency on the development of 'Australian yellow leaf' lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) under aeroponic cultivation

E. GORLICZAY – K. MONTVAI – J. TAMÁS – A. NAGY

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

Summary

The high nutritional value and mineral content of lettuce has attracted the interest of many researchers in indoor experiments. Therefore, in our research, we chose 'Australian yellow leaf' lettuce (*Lactuca sativa* var. *crispa*) as the experimental plant. In aeroponic systems, the droplet size, the intensity of the nutrient application and the light are the most important parameters that determine the physical and nutritional parameters of the plants. Based on these, the aim of the study was to determine the effect of different nutrient application intensities on aeroponically grown 'Australian yellow leaf' lettuce. Four treatments were set up in the aeroponic system (AeroFlo20) which means 1st treatment – 10×15 min/day, 2nd treatment – 8×8 min/day, 3rd treatment – 4×15 min/day, 4th treatment – 2×30 min/day. During the nine weeks of the experiment, leaf number (pcs/plant) and root length (cm) development, total chlorophyll (µg/g) and carotenoid content (µg/g), water potential (bar) and stress parameters (Fv/Fm, Fv/Fo) were measured. Based on our results, it can be concluded that leaf number, plant height and root length increased with decreasing nutrient application intensity in 'Australian yellow leaf' lettuce, so that 30 min of nutrient application twice daily is sufficient if these parameters are taken into account. In the case of water potential, significantly higher values were obtained for the treatment with most daily nutrient applications (10 times 15 min/day) (-3.72±0.33 bar) than for the treatment where plants were given nutrient solution twice a day (p<0.05).

Key words: aeroponics, lettuce, soilless cultivation, nutrient addition

Bevezetés

Az elmúlt években az élelmezésbiztonság és az élelmiszerbiztonság egyre fontosabb kérdéssé vált világszerte. Az előrejelzések szerint a népesség az elkövetkező évtizedekben drámai mértékben növekedni fog (*Tunio et al. 2020*), mely nem az egyetlen nagy globális probléma, ugyanis a mezőgazdasági talajokkal foglalkozó szakemberek arra hívták fel a figyelmet, hogy a termőföldek leromlása egyre súlyosbodik (*Khan et al. 2019, Michelin et al. 2020*), valamint folyamatosan csökken az egységnyi népességre jutó termőterület. Ezen okok miatt az élelmiszerkereslet meghaladhatja a kínálatot, ami globális éhínséghez vezethet. Egy másik nagy probléma, hogy a növénytermesztés nagyban függ az időjárástól (*Grunda et al. 2019*). A globális éghajlatváltozás várhatóan növelni fogja a gyakori aszályok, belvizek, időjárási szélsőségek kockázatát, mely a növénytermesztési technológiákban sok bizonytalanságot okoz. Az egyre növekvő igény kielégítését nehezítik a folyamatosan csökkenő földterületek és a klímaváltozás is (*Malhotra 2015*). A klímaváltozás hatása a kertészeti ágazatokban és hazánkban is érzékelhető. 2015-ben még 365 hektárnyi területen több mint 12 ezer tonna salátát termesztettek a magyar gazdák, ez 2019-re 299 hektárnyi területre és 8,3 ezer tonna megtermelt mennyiségre zsugorodott, ami a vizsgált időszak tekintetében 18%-os terület- és 31%-os termésmennyiség-csökkenést mutat. Mindezek mellett, a fogyasztói szokások és igények is változáson mennek keresztül, amely a fejes saláták háttérbe szorulását jelentheti, ugyanis egyre inkább elterjedté válnak az itthon még kevésbé ismert és populáris fajták. Magyarországon a jégsaláta (*Lactuca sativa* var. *capitata*) és a fejes saláta (*Lactuca sativa*) örvend a legnagyobb népszerűségnek, őket követi a vörös és zöld tépősaláta, vagyis a 'Lollo rossa' és a 'Lollo bionda' tépősaláták, valamint a római saláta (*Lactuca sativa* convar. *longifolia*). A salátakülönlegességek csak ezen fajták után következnek. A hazai salátatermesztés évente 60–70 millió fej salátát jelent. Az itthoni gazdák 70–80%-ban magyar felhasználásra termelnek, de a korai időszakban azok a kertészetek, amelyek a feldolgozóiparnak termelnek egy részét tudják exportálni Lengyelországba és Romániába (*Agrárszektor 2021*). A salátatermesztés csökkenő tendenciát mutat, melynek az egyik fő oka a klímaváltozás, illetve az abból következő szélsőséges időjárás: a hideg tavaszok és az extrém meleg nyarak, melyek a salátatermesztés

szempontjából kedvezőtlen körülményeket teremt. Ilyen körülmények között a talaj nélküli termesztés lehet a hatékony alkalmazkodás egyik alternatív technológiája (Massantini et al. 1988, Xu et al. 1995, Tunio et al. 2021). A talaj nélküli termesztés olyan módszer, amely a növényeket a szükséges tápanyagokkal és vízzel való ellátását a talajtól elszigetelt rendszerben biztosítja (Asaduzzaman et al. 2015). Az aeropónikus termesztést paradicsom (Tafesse et al. 2021), uborka (Jamshidi et al. 2020), eper (Mohamed et al. 2022), levélzöldségek (Lim 1996, Chandra et al. 2014), burgonya (Farran és Mingo-Castell, 2006, Tunio et al. 2020) fűszernövények és gyógynövények (Hayden 2006), dísznövények (de Kreij-Hoeven 1997), áfonya (Barak et al. 1996) és fejes saláta (Repetto et al. 1993, Lakhari et al. 2020, Tunio et al. 2021) esetén sikeresen alkalmazzák.

A kutatás során aeropónikus körülmények között neveltünk 'Ausztráliai sárga' tépősalátát. A kutatás kiindulópontja az volt, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással lehet az 'Ausztráliai sárga' tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre. A kísérlet során öt hétig neveltük a salátákat ötszörös ismétlésben egy aeropónikus rendszerben, majd mértük a levélszámot (db/tő), gyökérhosszt (cm), stressz-paramétereket (Fv/Fm, Fv/Fo), összes klorofill- és karotinoid-tartalmat (µg/g), vízpotenciált (bar). A cél az volt, hogy meghatározzuk, hogy a gyakoribb vagy a ritkább tápoldatozás hatékonyabb-e a választott salátafajta termesztése és a vizsgált paraméterek szempontjából.

Anyag és módszer

A kísérlet beállítása a Debreceni Egyetem MÉK Víz- és Környezetgazdálkodási Intézetében, a Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék aeropónikus laboratóriumában történt.

A kísérletben alkalmazott tesztnövény

A tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) termesztése Európa jelentős részén népszerű, Magyarországon kevésbé terjed el. Fejlődésének kezdeti szakaszában hasonlít a fejes salátához, azonban későbbi fejlődési szakaszaiban jól látszanak a különbségek: gyökerei erősebbek és mélyebbek, levelei pedig nem képeznek zárt fejet. Szártengelye 40–80 cm hosszúságú, nem ágazik el,

és levelekkel sűrűn borított. Levelei mereven kifelé állnak, kerekdedek, fodrosak, csipkések is lehetnek, sőt akár mélyen tagoltak is. Színük a halványzöldtől a sárgán és a pirosan át a sötétbarnáig sokféle árnyalatú. A levelek zömök, de finom megjelenésűek, ízletesek, nem keserűek, és kifejlett állapotban 400–600 g tömegűek. A saláták többsége alacsony hőmérsékleten termesztendő, de a tépősaláta a magasabb hőmérsékletet is kedveli. A hűvös kora tavasztól a meleg nyárig, majd ismét a hűvösebb őszi egyenletes termést hoz. Igaz, hogy nyáron magszárat növeszt, de a levelek minősége még ekkor is változatlan (*Superseeds* 2023). Kevés fény (elsősorban a téli hónapokban) hatására lassabban nő, de később a melegben és a fényben növekedése, fejlődése felgyorsul. Félárnyékba is vethető, ahol a levelei nem lesznek keserű ízűek, de vizsgálatok is alátámasztják, hogy az alacsony fényintenzitás, valamint rövid fotoperiódus növeli a nitrát-koncentrációt *Nádasyné* (2000). *Van der Boom et al.* (1990) vizsgálatai alapján a téli hónapokban termesztett fejes saláták esetén megnövekszik a nitrát-tartalom a fényhiány miatt, mely pótmegvilágítással jelentősen csökkenhető.

Közepes vízellátást igényel, és erősebb gyökerei miatt nem olyan érzékeny az időszakos vízhiányra, mint a fejes saláta vagy a kötözősaláta. Folyamatos betakarítással 5–8 kg/m² friss saláta termésére képes. Nyáron (különösen öntözés esetén) kiválóan helyettesítheti a fejes salátát és beltartalmi értéke nagyobb, mint a fejes salátáé. Különösen gazdag B₁-, B₂- és C-vitaminban, karotinban és ásványi sókban.

Csíráztatás és palántanevelés körülményei

A salátamagok csíráztatása (3,6×3,6×4 cm méretű) kőzetgyapot termesztőkockán, zárt Mammoth Lite 80+ típusú beltéri palántanevelő sátorban történt. A palántákat az *1. táblázatban* feltüntetett tápoldatokkal neveltük a 7. napig. SANLIGHT q5w GEN2 típusú palántanevelő lámpával világítottuk meg 400–780 nm hullámhossz tartományú fényvel. A kőzetgyapot kockát tápoldattal telítettük, majd minden kőzetgyapotkockába négy darab magot helyeztünk el, végül perlit takaróanyaggal szórtuk meg a termesztőkockák tetejét. A csíráztatás során egy kőzetgyapot kockában négy növényt neveltünk, majd az aeropónikus rendszerbe kerüléskor a kőzetgyapot kockákból kivettük a palántákat.

1. táblázat. A kísérletben alkalmazott tápoldatok

	Csíráztatás (5)	Első gyökerek (6)	Első valódi levelek (7)	Növekedés (8)
A tápoldat (1)	0,25 ml/l	0,5 ml/l	1 ml/l	1,8 ml/l
B tápoldat (2)	0,25 ml/l	0,5 ml/l	1 ml/l	1,2 ml/l
C tápoldat (3)	0,25 ml/l	0,5 ml/l	1 ml/l	0,6 ml/l
EC (dS/cm) (4)	0,15–0,2	0,3–0,6	0,8–1,2	1,3–1,8

Table 1. Nutrient solutions used in growing plants. (1) Nutrient solution „A”, (2) Nutrient solution „B”, (3) Nutrient solution „C”, (4) Electrical conductivity (dS cm⁻¹), (5) Germination phase, (6) First roots phase, (7) First true leaves, (8) Growing phase

A 12. napon, a BBCH skála (Feller *et al.* 1995) szerinti 1.3. – Levélfejlődés, harmadik valódi levél stádiumban a tesztnövények átlagos levélszáma $3,8 \pm 0,4$ db, átlagos magassága $3,37 \pm 0,35$ cm volt, s ekkor kerültek be a növények a víz- és energiahatékony, teljesen fény-, hő- és páratartalom-szabályozott aeropónikus termesztési rendszerbe.

Aeropónikus rendszer jellemzői és a kísérlet beállítása

Az aeropónikus rendszerben 16 óra fény/8 óra sötét megvilágítást alkalmaztunk (2. táblázat), a növények fölött 85 cm-re elhelyezett FA-GTR Research Toplight négycsatornás lámpatestek segítségével.

A kísérleti elrendezés négy azonos elrendezésű, felépítésű aeropónikus rendszerből állt (AeroFlo 20, GHE). Mindegyik AeroFlo rendszer egy-egy tartályból állt, amely négy, egyenként öt lyukat tartalmazó termesztőegységhez volt csatlakoztatva. A teljes ültetési terület rendszerenként 1 m² volt 50 l tápoldat-mennyiséggel. A tápoldatot egységenként egy Sicce Syncra Silence 1,5 típusú szivattyú folyamatosan keringtette, és a tápoldatot a növényekhez fúvókákon keresztül juttatta el. A négy kísérleti elrendezésben azonos tápoldatot kaptak a tesztnövények, a kezeléseket a tápoldatozási intenzitások jelentették (3. táblázat).

2. táblázat. *Kísérletben alkalmazott fényprogram összetétele*

Fényreceptúra lépése (1)	Kék (400–500 nm) (2)	Zöld (500–600 nm) (3)	Vörös (600–700 nm) (4)	Távoli vörös (700–800 nm) (5)	Fényintenzitás összesen (6)
8 óra	0 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	7 $\mu\text{mol/s}$	4 $\mu\text{mol/s}$	37 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$	48 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	15 $\mu\text{mol/s}$	7 $\mu\text{mol/s}$	74 $\mu\text{mol/s}$	1 $\mu\text{mol/s}$	97 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	18 $\mu\text{mol/s}$	9 $\mu\text{mol/s}$	94 $\mu\text{mol/s}$	1 $\mu\text{mol/s}$	122 $\mu\text{mol/s}$
14 óra	22 $\mu\text{mol/s}$	11 $\mu\text{mol/s}$	110 $\mu\text{mol/s}$	1 $\mu\text{mol/s}$	145 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	18 $\mu\text{mol/s}$	9 $\mu\text{mol/s}$	94 $\mu\text{mol/s}$	1 $\mu\text{mol/s}$	122 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	15 $\mu\text{mol/s}$	7 $\mu\text{mol/s}$	74 $\mu\text{mol/s}$	1 $\mu\text{mol/s}$	97 $\mu\text{mol/s}$
20 perc	7 $\mu\text{mol/s}$	4 $\mu\text{mol/s}$	37 $\mu\text{mol/s}$	0 $\mu\text{mol/s}$	48 $\mu\text{mol/s}$

Table 2. Light recipe used in the experiment. (1) Step of the light recipe, (2) Blue wavelength (400–500 nm), (3) Green wavelength (500–600 nm), (4) Red wavelength (600–700 nm), (5) Far Red wavelength (700–800 nm), (6) Total light intensity

3. táblázat. *Aeropónikus rendszerben beállított kezelések*

Kezelés elnevezése (1)	Szivattyú működés időpontja (2)	Napi szivattyúkapcsolások száma (3)
1. kezelés	2,1 óránként kapcsol (off)/ 15 percig üzemel (on)	10 alkalom
2. kezelés	3 óránként kapcsol/8 percig üzemel	8 alkalom
3. kezelés	6 óránként kapcsol/15 percig üzemel	4 alkalom
4. kezelés	12 óránként kapcsol/30 percig üzemel	2 alkalom

Table 3. Treatments set in an aeroponic system. (1) Name of the treatments, (2) Pump operation time, (3) Number of pump starts per day

A kísérlet során nem alkalmaztunk semmilyen növényvédelmi technológiát, kizárólag rovarfogó lapokat. A fogólapokat a növényállomány fölé 10 cm-rel helyeztük el. A sárga rovarfogó lap optikai rovarcsapda, mely nagy vonzerővel hat a levéltetvekre, fehér legyekre, árnyékszűnyogokra és tripszre.

Klímakörülmények az aeropónikus rendszerben

Az aeropónikus rendszerben a levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának adatait 60 percenként gyűjtöttük NOVUS RHT adatgyűjtő transzmitterekkel a klímazoba 52 cm-es és 142 cm-es magasságában. Az adatokat Fieldlogger 1.6.9.03 szoftverrel nyertük ki és a napi értékeket átlagoltuk (1. ábra).

1. ábra. A hőmérséklet és a relatív páratartalom az aeropónikus rendszerben a kísérlet ideje alatt

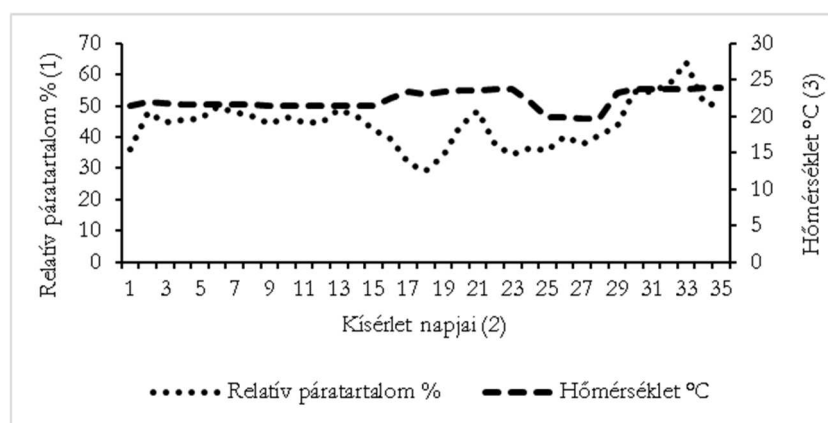


Figure 1. Temperature and relative humidity in the aeroponic system during the experiment. (1) Relative humidity (%), (2) Days of the experiment, (3) Temperature (°C), ... Relative humidity (%), --- Temperature (°C)

A hőmérséklet alakulásáról elmondható, hogy 19,74–23,89 °C között, a relatív páratartalom pedig 29,24–63,98% között alakult az aeropónikus rendszerben. Ahogy teltek a kísérlet napjai a levelek felülete egyre nagyobbá vált, így folyamatosan növekedett a páratartalom. Az egyre csak növekedő párat a rendszer már nem tudta kompenzálni, így a szobán belüli páratartalom folyamatosan emelkedett. Ez a magas páratartalom egyrészt gyakran vezethet levegőben lévő vízcseppek kicsapódásához a növények levelein, ami a fotoszintézist akadályozhatja. Másrészt ezek a magas páratartalmú körülmények hajlamosíthatnak a penész és a gombák megtelepedésére is, amelyek ronthatják a növények állapotát. Ami a kalcium-felvételi problémát illeti, a magas páratartalom csökkentheti a növények

transzpirációs rátáját, vagyis a víz és a tápanyagok felszívódását a gyökereken keresztül. Ha a transzpiráció csökken a magas páratartalom miatt, akkor ez a kalcium felvételének csökkenéséhez vezethet, amely saláta esetén olyan jelekkel jár, mint a levélszél elhalás, a levéldeformáció, a gyökézzettel összefüggő problémák és a levélhullás.

Elvégzett vizsgálatok, alkalmazott eszközök

- Levélszám meghatározása

A növények levélszámát heti rendszerességgel rögzítettük. Minden mérésnél az egyed összes levelét megszámláltuk és táblázatban rögzítettük. A számlálás során csak az élő leveleket jegyeztük fel, az elhalt, elszáradt levelek nem jöttek számításba.

- Gyökérhossz meghatározása

A növény gyökérhosszát a kísérlet felszámolásakor mértük le. Mikor felszámoltuk a kísérletet ekkor kerültek ki a növények a tartóközegeből és nyílt lehetőségünk a gyökerek hosszának megmérésére. A növényt fekvő helyzetben letettük az asztalra, a gyökérét kiegyenesítettük és mérőszalag segítségével megmértük.

- Fv/Fm, Fv/Fo értékének meghatározása

A növényi stressz mérésére OS30p+ klorofill fluorométert használtunk Ezzel a hordozható műszerrel - a mérőfejet kalibrálás után a növények leveleire csíptetve (sötét adaptálás) - meg tudtuk határozni roncsolás nélkül a növényi fotoszintetikus aktivitást (*Schreiber et al.* 1988), továbbá a változó, a maximális és az alap fluoreszcencia szintjét, valamint az Fv/Fm és Fv/Fo hányadosokat. Az Fv/Fm, azaz a PSII potenciális fotokémiai hatékonyságának kiszámításához a következő összefüggést használtuk:

$$Fv/Fm = (Fm-Fo)/Fm.$$

Az Fv/Fm egy normalizált arány, melyet *Kitajima* és *Butler* (1975) fejlesztett ki, s a növényi stressz mérésének egyik leggyakrabban használt módszere. *Maxwell* és *Johnson* (2000) alapján az Fv/Fm értéke egészséges vegetáció

esetén 0,79 és 0,89 között van, ennél alacsonyabb érték esetén a növényt stressz éri.

Az F_v/F_o (azaz a PSII rendszer maximális kvantumhozama) az F_v/F_m hányadosnál sokkal érzékenyebb, ahogyan azt *Lichtenthaler és Buschmann* (1984), valamint *Babani és Lichtenthaler* (1996) is bizonyította. Számításához a következő összefüggést alkalmaztuk:

$$F_v/F_o = (F_m - F_o)/F_o,$$

ahol: F_v =változó fluoreszcencia szintje, F_m =maximális fluoreszcencia (telítési fényimpulzus hatására mért fluoreszcencia), F_o =alap fluoreszcencia szintje.

Ez az arány magába foglalja ugyanazt az alapinformációt, mint az F_v/F_m , de magasabb értékeket mutat, és magasabb a dinamikai tartományt, mint az F_v/F_m . Az F_v/F_o arány magasabb értéket mutat a stresszhelyzetekben és a változó, valamint az alap fluoreszcencia változása azonnal tükröződik benne (*Lichtenthaler et al.* 2005).

- Összes klorofill- és karotinoid-tartalom meghatározása

A friss levélmintákat 80%-os aceton és kvarchomok segítségével mozsárban homogén állapotúra roncsoltuk, majd 10 ml-es centrifugacsövekben HETTICH ROTOFIC 32A típusú centrifugában 3 percig 3000 fordulat/perc ülepítettük. A centrifugacsövek felső részében lévő tiszta oldatból 2,5 ml-t kvarcküvetába pipettáztunk, majd SECOMAN Anthelie Light II. UV-VIS spektrofotométerrel mértük meg a növényi kivonatok abszorbanciáját 470, 644 és 663 nm hullámhosszon. Ezért ezt a három hullámhosszt választottuk a spektrofotométeres mérésekhez, mert a 80%-os aceton oldatban 663 nm-en a klorofill a-nak, 645 nm-en a klorofill b-nek, még a karotinoidoknak 440–470 nm hullámhossz tartományban van fényelnyelési maximumuk (*Allaga és Palánki* 1997). A kapott abszorbancia értékekből *Droppa et al.* (2003) képlete alapján számítottuk ki az összes klorofill-tartalom értékét:

$$K_{L,A,B} = (20,2 * A_{644} + 8,02 * A_{663}) * V/w.$$

Az összes karotinoid-tartalom számításához *Lichtenthaler et al.* (1983) által meghatározott összefüggést alkalmaztuk:

$$KA = [1000 \cdot A_{470} - 3,27 \cdot (12,21 \cdot A_{663} - 2,81 \cdot A_{644}) - 104 \cdot (20,13 \cdot A_{644} - 5,03 \cdot A_{663})] \cdot V/w$$

ahol a fenti egyenletekben szereplő tényezők a következők: KA=összes karotinoid-tartalom µg/g-ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva, $KL_{A,B}$ =klorofill A és B µg/g-ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva, $A_{470,663,644}$ =470, 663 és 644 nm-en mért abszorbancia értéke, V=folyékony szövetkivonat térfogata (ml), w=friss növényi szövetminta tömege (g).

- Vízpotenciál meghatározása

A vizsgált növények vízpotenciáljának mérése a kísérlet 5. hetében történt háromszoros ismétlésben. A vízpotenciál mérés *Szabó et al. (2020)* alapján, Pump-Up Chamber típusú növényi vízpotenciál mérő eszközzel történt. Az eszköz a Scholander-féle nyomáskamra elvén működik, azaz egy zárt zacskóval a lemetszett növényi részt (levelet) elhelyeztük a nyomáskamrába és a nyomást addig növeltük, amíg a levélnyélen meg nem jelent a növényi nedv.

Eredmények statisztikai értékelése

A statisztikai elemzéseket R szoftver alkalmazásával R Studio felhasználói környezetben végeztük el (*R Core Team 2017*). A kezelések közötti statisztikai különbségek igazolására egytényezős varianciaanalízist végeztünk ($p < 0,05$).

Vizsgálati eredmények

Levélszám alakulása

Mivel minden héten megszámláltuk minden egyes termesztett egyed levélszámát, így átfogó képet kaptunk a növények leveleinek alakulásáról (2. ábra).

A levélszám a teljes kísérlet ideje alatt $3,8 \pm 0,44$ db és $21,60 \pm 4,49$ db között alakult. A kezeléseket megfigyelve jól látható, hogy a levelek száma növekvő tendenciát mutatott a kísérlet öt hetében.

A kezelések átlagos levélszámában szignifikáns különbségeket tudunk kimutatni ($p < 0,05$). Ezek alapján elmondható, hogy napi kilenc alkalommal

történő tápoldatozás (1. kezelés) nem szükséges, ugyanis a 4. kezelés esetén kapott levélszám jóval magasabb volt az 1. kezelés esetén kapott levélszámnak, tehát napi 2×30 perc tápoldatozás a levélszám tekintetében elegendőnek bizonyult.

2. ábra. Levélszám (db/tő) alakulása különböző kezelések hatására

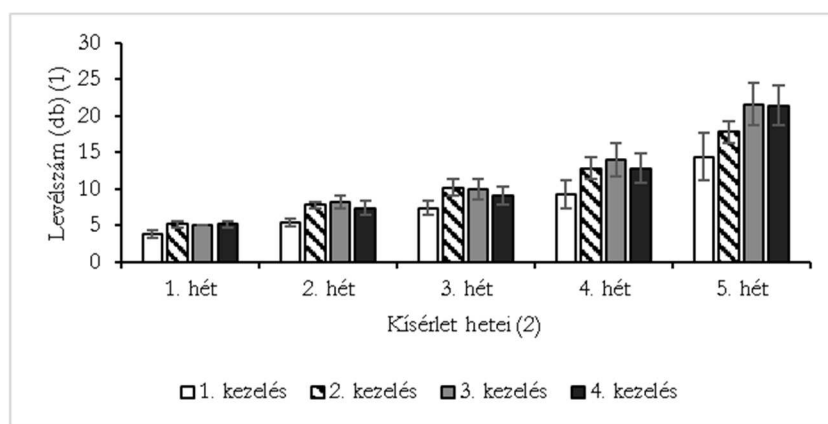


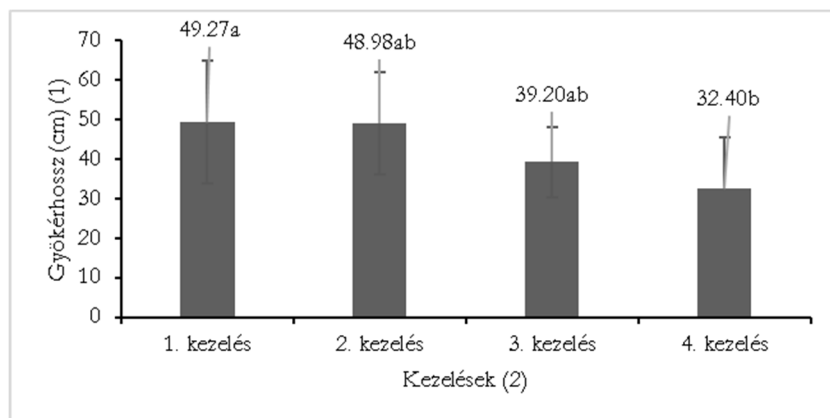
Figure 2. Evolution of the number of leaves (pcs/plant) of the different treatments. (1) Number of the leaves (pcs), (2) Weeks of the experiment

Gyökérhossz alakulása

A kísérlet befejeztével a növényeket egyesével kiszedtük az aeropóniás termesztőrendszerből és ekkor mértük meg a gyökereik hosszát (3. ábra).

A 3. ábrán az 'Ausztráliai sárga' kezeléskénti gyökérhossza látható. Megfigyelhető az a tendencia, hogy minél kevesebb napi tápoldatozásban részesült a növény, a gyökereinek hossza annál kisebb lett. Az első kezelésben lévő saláták gyökere volt a leghosszabb ($49,27 \pm 15,51$ cm), a négyes kezelésben lévő egyedek gyökere volt a legrövidebb ($32,40 \pm 12,88$ cm). A kezeléskénti átlagos gyökérhosszak között szignifikáns különbségeket tudunk kimutatni ($p < 0,05$). Ez a tendencia azzal magyarázható, hogy a kevesebb napi tápoldatozás a növények számára kevesebb tápanyagot is jelent, mely korlátozhatja a gyökérnövekedést. A napi többszöri tápoldatozás általában elősegíti a növények gyökérfejlődését. Ha kevesebb tápanyag áll rendelkezésre, a növények kevésbé hajlamosak azt a gyökérrendszerük fejlődésére fordítani, és olyan folyamatok dominálhatnak, mint például levélképződés.

3. ábra. Gyökérhosszúság (cm) alakulása a különböző kezeléseknél



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezeléseknél nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Figure 3. Evolution of root lengths (cm) for different treatments. (1) Length of roots (cm), (2) Treatments, Note: no significant difference between treatments with the same letter ($p < 0,05$).

Stresszparaméterek alakulása

A fluoriméteres méréseket heti rendszerességgel végeztük el, azonban azokra a hetekre koncentráltunk, amikor már mérhető volt levélfelület (1. hét), valamint amikor a pigmenttartalom vizsgálat is történt (5. hét) (4. táblázat).

Az első héten jelentős stressz figyelhető meg, melyet mind az F_v/F_m ($< 0,70$ értékek), mind az F_v/F_o ($< 2,5$ értékek) bizonyítanak. Ez a stresszt a betelepítés, a növények megbolygatása váltotta ki, valamint az, hogy a palántanevelő sátorban lévő lámpatestben nem volt kék fény, így nem voltak optimálisak a körülmények a növények fotoszintéziséhez. Az aeropónikus rendszerbe történő telepítést követően szükségük volt a növényeknek 5–8 napra a regenerálódáshoz (a 2. kezelés esetén látszik ez a tendencia leginkább), így az ötödik héten már itt sem figyelhető meg stressz. Az 1. kezelés bizonyult a legjobbnak az mérési eredmények és a statisztikai vizsgálat alapján is.

Az egészséges növények esetén a levélben mért F_v/F_m értéke 0,83 körül alakul, ha ez az érték csökken ($< 0,7$ alatti érték), akkor a fotoszintetikus apparátus (PSII) állapota romlik, amely bekövetkezhet magas hőmérséklet erős fény, vízhiány illetve valamelyik tápanyag hiánya miatt is (Skríbanek et al. 2016).

4. táblázat. *Fv/Fm és Fv/Fo hányadosok alakulása kezelésként a kísérlet első és ötödik hetében*

Fv/Fm	1. hét (1)	5. hét (2)
1. kezelés (3)	0,710±0,009b	0,762±0,012b
2. kezelés (4)	0,665±0,009a	0,749±0,027ab
3. kezelés (5)	0,673±0,009a	0,730±0,035a
4. kezelés (6)	0,680±0,013a	0,720±0,027a
Fv/Fo	1. hét (1)	5. hét (2)
1. kezelés (3)	2,452±0,102b	3,203±0,204b
2. kezelés (4)	1,928±0,082a	3,014±0,404ab
3. kezelés (5)	2,059±0,084a	2,756±0,457a
4. kezelés (6)	2,126±0,127ab	2,595±0,357b

Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Table 4. Evolution of Fv/Fm and Fv/Fo ratios in weeks 1 and 5 of the experiment. (1) Week 1, (2) Week 5, (3) 1st treatment, (4) 2nd treatment, (5) 3rd treatment, (6) 4th treatment, Note: no significant difference between treatments with the same letter ($p < 0.05$).

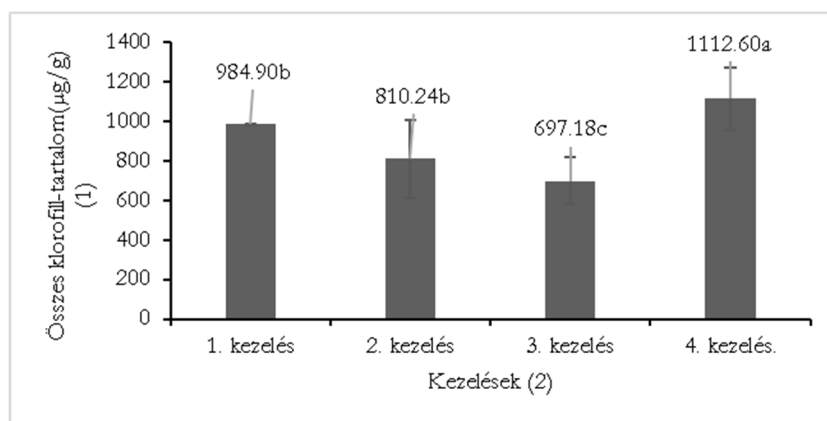
Összes klorofill- és karotinoid-tartalom alakulása

A roncsolásos pigmetttartalom ($\mu\text{g/g}$) vizsgálatot az ötödik héten végeztük el. Jól megfigyelhető, hogy az összes klorofill- és karotinoid-tartalom együtt változott az összes növény esetében, kezelésektől függően (4. és 5. ábra).

A 4. ábrán megfigyelhető, hogy a kísérlet ötödik hetében a legmagasabb összes klorofill-tartalmat a négyes kezelésnél ($1112,60 \mu\text{g/g}$), legalacsonyabb pedig a harmadik kezelés ($697,18 \mu\text{g/g}$) esetében mértük. A kezelésekek közötti különbségek alapján elmondható, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással van a növényi pigmetttartalom alakulására.

Az összes karotinoid-tartalom (5. ábra) viszont az első kezelésben a legmagasabb ($211,98 \mu\text{g/g}$), a legalacsonyabb pedig szintén a harmadik kezelésben ($117,49 \mu\text{g/g}$) volt.

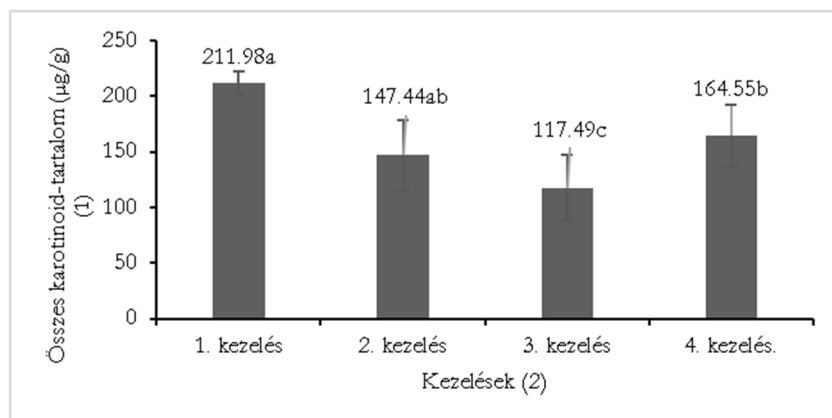
4. ábra. Összes klorofill-tartalom alakulása a kísérlet ötödik hetében



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Figure 4. Evolution of total chlorophyll content in the fifth week of the experiment. (1) Total chlorophyll content ($\mu\text{g/g}$), (2) Treatments, Note: no significant difference between treatments with the same letter ($p < 0.05$).

5. ábra. Összes karotinoid-tartalom alakulása a kísérlet ötödik hetében



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

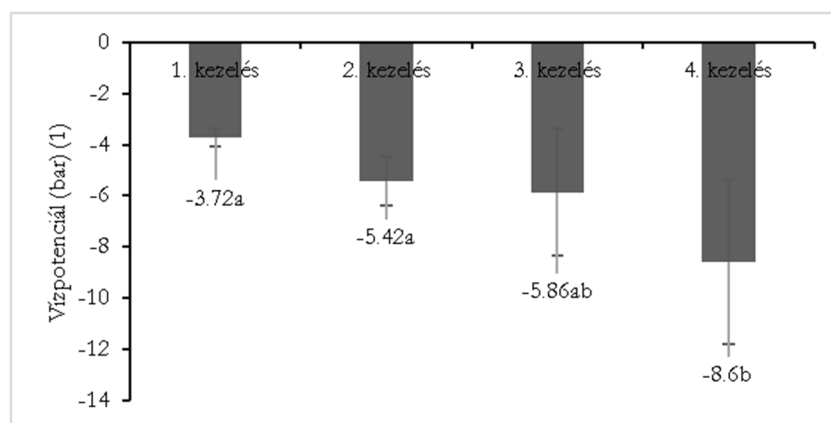
Figure 5. Evolution of total carotenoids in the fifth week of the experiment. (1) Total carotenoid content ($\mu\text{g/g}$), (2) Treatments, Note: no significant difference between treatments marked with the same letter ($p < 0.05$).

Kopsell et al. (2007) vizsgálatai alapján a magasabb összes karotinoid mennyisége a növény által nagyobb mennyiségben felvehető nitrogénadagokkal magyarázható.

Vízpotenciál alakulása

A vízpotenciál mérésével azt szeretnénk volna meghatározni, hogy a sejtek közötti víz mekkora nyomással sajtolható ki annak függvényében, hogy naponta hány alkalommal kapott tápoldatot a növény. Azt feltételeztük, hogy minél kevesebbszer kap a növény tápoldatot, annál nagyobb nyomásra van szükség ahhoz, hogy a sejtek közötti vizet ki tudjuk préselni, amely azt jelenti, hogy sokkal kevésbé volt jól ellátva vízzel/tápoldattal. Arra számítottunk, hogy az alacsonyabb vízellátottság magasabb vízpotenciált fog eredményezni (6. ábra).

6. ábra. *Vízpotenciál alakulása a különböző kezelések esetén a kísérlet ötödik hetében*



Megjegyzés: az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Figure 6. Evolution of water potential for the different treatments in the fifth week of the experiment. (1) Water potential (bar), Note: no significant difference between treatments marked with the same letter ($p < 0,05$).

A -10 barhoz közeli értékek nem mondhatók jónak, ezt az értéket az 'Ausztráliai sárga' esetében kizárólag a 4. kezelés közelíti meg (-8,6 bar), mely azt jelenti, hogy a legkevesebb napi tápoldatozású kezelés esetén a növény több tápoldatot tudott a sejtei közé beépíteni. Az 1. kezelés eredménye (-3,72

bar) rendkívül jónak mondható, holott statisztikailag a 2. kezeléssel azonos csoportot alkotott ($p < 0,05$).

Eredmények értékelése, következtetések

A kutatásunk kiindulópontja az volt, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással lehet az 'Ausztráliai sárga' tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre. A célunk az volt, hogy meghatározzuk, hogy a gyakoribb vagy a ritkább tápoldatozási intenzitás hatékonyabb-e a választott salátafajta termesztése és a vizsgált paraméterek szempontjából.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy levélszám esetén növekvő volt a tendencia – napi tápoldatozástól függetlenül. A 3. és 4. kezelés esetén megfigyelhető kismértékű csökkenés a levélszámban, mely azzal magyarázható, hogy az alsó levelek elszáradtak, a nagyra nőtt salátafejek miatt nem fértek el egymás mellett a növények. Az aeropónikus rendszerben 10,5 cm × 15 cm-es térállást alkalmaztunk.

Gyökérhossz esetén elmondható, hogy minél több volt a napi tápoldatozások száma (1. kezelés), a növény gyökere annál hosszabb volt, tehát nagyobb volt a gyökér felszívó felülete. Kovácsné et al. (2019) összefüggést állapítottak meg a gyökértömeg és az asszimiláló felület (fejtömeg, fejméret) között, azaz a nagyobb felszívó felület nagyobb méretű salátafej képződését jelenti.

A klorofill fluoreszcencia és az abból származtatott indexek roncsolásmentes módszerekként javasolhatók a levélzöldségek minőségének értékelésére. A szín rendkívül fontos, mert meghatározza a zöldségek megjelenését és befolyásolja a fogyasztók választását (Ferrante et al. 2009). A színvesztés a levél pigmentjeinek (klorofill és karotinoidok) lebomlása vagy a szövetek barnulása miatt következhet be. Mind az Fv/Fm, mind pedig az Fv/Fo hányadosok értékei nőttek az 5. hétre az első heti (betelepítéskori) növényeket érő stresszt követően nem tudtunk fotoszintetikus rendszert érő stresszt detektálni. Az összes klorofill- és karotinoid-tartalom csökkenő tendenciát mutatott a csökkenő tápoldatozással összefüggésben. Vízpotenciál esetén a legtöbb napi tápoldatozású (napi kilencszer 15 perc) kezelés esetén szignifikánsan magasabb értékeket kaptunk ($-3,72 \pm 0,33$ bar), mint azon kezelésnél, melyben a növények naponta kétszer kapnak tápoldatot ($p < 0,05$).

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kutatás a Széchenyi Terv Plusz program keretében az RRF-2.3.1-21-2022-00008 számú projekt támogatásával valósult meg.

IRODALOM

- Agrárszektor* 2021. <https://www.agrarszektor.hu/elelmiszer/20210716/ugy-veszik-kulfoldonezta-magyar-zoldseget-mint-a-cukrot-itthon-megis-alig-fogy-31242#>
- Allaga J.-Szántóné Palánki E.*: 1997. Növényélettani gyakorlatok. Pannon Agrártudományi Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. Növénytan és Növényélettani Tanszék. Keszthely. 129.
- Asaduzzaman, M.-Saifullah, M.-Mollick, A. S. R.-Hossain, M. M.-Halim, G.-Asao, T.*: 2015. Influence of soilless culture substrate on improvement of yield and produce quality of horticultural crops. *Soilless Culture - Use of Substrates for the Production of Quality Horticultural Crops*. 10: 400-413.
- Babani, F.-Lichtenthaler, H. K.*: 1996. Light-induced and age-dependent development of chloroplasts in etiolated barley leaves as visualized by determination of photosynthetic pigments, CO₂ assimilation rates and different kinds of chlorophyll fluorescence ratios. *J. Plant Physiol.* 148: 555-566.
- Barak, P.-Smith, J.-Krueger, A.-Peterson, L.*: 1996. Measurement of short-term nutrient uptake rates in cranberry by aeroponics. *Plant, Cell & Environment*. 19. 2: 237-242.
- Chandra, S.-Khan, S.-Avula, B.-Lata, H.-Yang, M. H.-ElSohly, M. A.-Khan, I. A.*: 2014. Assessment of Total Phenolic and Flavonoid Content, Antioxidant Properties, and Yield of Aeroponically and Conventionally Grown Leafy Vegetables and Fruit Crops: A Comparative Study. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 1-9.
- de Kreijl, C.-van der Hoeven, B.*: 1997. Effect of humic substances, pH and its control on growth of chrysanthemum in aeroponics. *Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture*. 207-230.
- Droppa M.-Erdei S.-Horváth G.-Kissimom J.-Mészáros A.-Szalai J.-Kosáry J.*: 2003. Növénybiokémiai és élettani gyakorlatok. Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem. Budapest. 88.
- Farran, I.-Mingo-Castel, A. M.*: 2006. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*. 83. 1: 47-53.

- Feller, C.–Bleiholder, H.–Buhr, L.–Hack, H.–Hess, H.–Klose, R.–Meier, U.–Stauss, R.–van den Boom, T.–Weber E.: 1995. Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen. II. Fruchtgemüse und Hülsenfrüchte. Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 47. 8: 193–206.
- Ferrante, A.–Martinetti, L.–Maggiore, T.: 2009. Biochemical changes in cut vs. intact lamb's lettuce (*Valerianella olitoria*) leaves during storage. International Journal of Food Science & Technology. 44. 5: 1050–1056.
- Grunda, N.–Bisbis, M.–Tanny, J.: 2019. Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production – a review. Journal of Cleaner Production. 225: 324–339.
- Hayden, A. L.: 2006. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. HortScience. 41. 3: 536–538.
- Jamshidi, A. R.–Moghaddam, A. G.–Ghoraba, F. M.: 2020. Simultaneous optimization of water usage efficiency and yield of cucumber planted in a columnar aeroponic system. International Journal of Horticultural Science and Technology. 7. 4: 365–375.
- Khan, S.–Yu, H.–Li, Q.–Gao, Y.–Sallam, B. N.–Wang, H.: 2019. Exogenous application of amino acids improves the growth and yield of lettuce by enhancing photosynthetic assimilation and nutrient availability. Agronomy. 9. 5: 266–282.
- Kitajima, M.–Butler, W. L.: 1975. Quenching of chlorophyll fluorescence and primary photochemistry in chloroplasts by dibromothymoquinone. Biochim Biophys Acta. 376: 105–115.
- Lakhiar, I. A.–Gao, J.–Syed, T. N.–Chandio, F. A.–Tunio, M. H.–Ahmad, F.: 2020. Overview of the aeroponic agriculture–An emerging technology for global food security. International Journal of Agricultural and Biological Engineering. 13. 1: 1–10.
- Lichtenthaler, H. K.–Wellbum, A. R.: 1983. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. Biochemical Society Transactions. 603: 591–592.
- Lichtenthaler, H. K.–Buschmann, C.: 1984. Photooxidative changes in pigment composition and photosynthetic activity of air-polluted spruce needles (*Picea abies* L.). [In: Sybesma, C. (ed.) Advances in Photosynthesis Research. Vol. IV.] Martinus Nijhoff/W. Junk Publ. The Hague – Boston –Lancaster. 245–250.
- Lichtenthaler, H. K.–Buschmann, C.–Knapp, M.: 2005. How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio RFd of leaves with the PAM fluorometer. Photosynthetica. 43: 379–393.

- Lim, M.*: 1996. Trials with aeroponics for the cultivation of leafy vegetables. Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture. 265–272.
- Malhotra, S. K.*: 2015. Mission approach for development of protected cultivation. New Age Protected Cultivation. 1. 1: 29–32.
- Kovácsné Madar, Á.–Rubóczki, T.–Takácsné Hájos, M.*: 2019. Lettuce production in aquaponic and hydroponic systems. Acta Universitatis Sapientiae Agriculture and Environment. 11. 1: 51–59.
- Massantini, F.–Favilli, R.–Magnani, G.–Oggiano, N.*: 1988. Soilless culture, biotechnology for high quality vegetables. Soilless Culture. 4: 27–40.
- Maxwell, K.–Johnson, G. N.*: 2000. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. Journal of Experimental Botany. 51. 345: 659–668.
- Michelon, N.–Pennisi, G.–Myint, N. O.–Dall’Olio, G.–Batista, L. P.–Salviano A. A. C.*: 2020. Strategies for improved yield and water use efficiency of lettuce (*Lactuca sativa* L.) through simplified soilless cultivation under semi-arid climate. Agronomy. 10. 9: 1379–1392.
- Mohamed, T. M. K.–Gao, J.–Abuarab, M. E.–Kassem, M.–Wasef, E.–El-Ssawy, W.*: 2022. Applying Different Magnetic Water Densities as Irrigation for Aeroponically and Hydroponically Grown Strawberries. Agriculture. 12: 819.
- Nádasyné Ihárosi E.*: 2000. A növények nitrátakkumulációját befolyásoló tényezők. Agrokémia és Talajtan. 49. 1-2: 277–284.
- R Core Team*: 2017. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna. Austria. <https://www.R-project.org/>
- Repetto, A.–Cadinu, M.–Leoni, S.*: 1993. The effect of plant position on root development and vegetative growth in aeroponic lettuce. Acta Horticulturae. 361: 603–611.
- Schreiber, U.–Bilger, W.–Klughammer, C.–Neubauer, C.*: 1988. Application of the PAM fluorometer in stress detection. Kluwer Academic Publishers. 151–155.
- Superseeds*: 2023. <https://www.superseeds.com/products/australian-yellow-leaf-50-days>
- Szabó A.–Tamás J.–Nagy A.*: 2020. A jégvédő háló használatának hatásai az alma gyümölcsös vízháztartására és lombzatának pigment tartalmára. Kertgazdaság. 52. 3: 3–16.
- Tafesse, E. G.–Aidoo, M. K.–Lazarovitch, N.–Rachmilevitch, S.*: 2021. Aeroponic systems: A unique tool for estimating plant water relations and NO₃ uptake in response to salinity stress. Plant Direct. 5. 4:

- Tunio, M. H.-Gao, J.-Lakhiar, I. A.-Solangi, K. A.-Qureshi, W. A.-Shaikh, S. A.:* 2021. Influence of atomization nozzles and spraying intervals on growth, biomass yield, and nutrient uptake of butter-head lettuce under aeroponics system. *Agronomy*. 11. 1: 97-113.
- Tunio, M. H.-Gao, J.-Shaikh, S. A.-Lakhiar, I. A.-Qureshi, W. A.-Solangi, K. A.:* 2020. Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 80. 1: 118-132.
- Van der Boon, J.-Steenhuizen, J. W.-Steingröver, E. G.:* 1990. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by total nitrogen and chloride concentration, NH₄/NO₃ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. *Journal of Horticultural Science*. 65. 3: 309-321.
- Xu, H.-Gauthier, L.-Gosselin, A.:* 1995. Effects of fertigation management on growth and photosynthesis of tomato plants grown in peat, rockwool and NFT. *Sci. Hortic*. 63: 11-20.

A szerzők levelezési címe - Address of the authors:

*Dr. Gorliczay Edit - Montvai Kornélia - Dr. Tamás János - Dr. Nagy Attila
Debreceni Egyetem MÉK
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet
Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék
Debrecen
Böszörményi út 138.
H-4032
*edit.gorliczay@agr.unideb.hu

