

A tápoldatozási idő hatása a 'Május királya' fejes saláta (*Lactuca sativa* L.) fejlődésére aeropónikus termesztésben

GORLICZAY EDIT^{1,2}, MONTVAI KORNÉLIA¹, TAMÁS JÁNOS^{1,2},
SZABÓ ANDRÁS³, NAGY ATTILA^{1,2}

¹Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar,
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék

²Víz tudományi és Vízbiztonsági Nemzeti Laboratórium, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság,
Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet,
Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék

³Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar,
Növény tudományi Intézet, Növénytermesztési, Tájökológiai és Növénynevelési Tanszék

E-mail: edit.gorliczay@agr.unideb.hu

Összefoglalás

Az aeropónikus rendszerekben a fűvókák cseppmérete, a tápoldat kijuttatásának intenzitása, valamint a biztosított fény a legfontosabb paraméterek, melyek befolyásolják a növény fizikai és beltartalmi paramétereit.

A kísérlet során 5 hétig neveltük a 'Május királya' fejet képző saláta (*Lactuca sativa* L.) teszt növényeket ötszörös ismétlésben egy zárt klímaszobában lévő aeropónikus rendszerben. Az aeropónikus rendszerben (AeroFlo20) négy kezelést állítottunk be, melyek a különböző tápoldatozási intenzitásokat jelentették: 1. kezelés – napi 10x15 perc, 2. kezelés - napi 8x8 perc, 3. kezelés – napi 4x15 perc, 4. kezelés – napi 2x30 perc. A kísérlet során heti rendszerességgel határoztuk meg a fejtármérő, levélszám, relatív klorofill-tartalom (a továbbiakban: SPAD-érték), a kísérlet végén a fejtömeg, gyökértömeg, gyökérhossz, összes klorofill/összes karotinoid arány alakulását. A célunk az volt, hogy meghatározzuk, hogy a gyakoribb vagy a ritkább tápoldatozási intenzitás hatékonyabb-e a 'Május királya' fejes saláta termesztése és a vizsgált paraméterek szempontjából.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy a levélszám, illetve fejtármérő esetén nem kaptunk a kezelések között kimutatható szignifikáns különbségeket ($p < 0,05$). A SPAD-értékekről elmondható, hogy minél több napi tápoldatozást kapott a növény (1. és 2. kezelés), értéke annál magasabb

lett az 5. hétre: az 1. kezelés esetén $42,32 \pm 13,25$, még a 2. kezelés esetén $44,32 \pm 13,25$ SPAD-értéket mértünk. A gyökér- és fejtömeg alakulása összhangban volt a gyökérhossz és a fejtármérfő alakulásával: az 1. kezelés esetén mértük a legnagyobb értékeket, tehát a többszöri napi tápoldatozás pozitívan hatott a gyökérhosszra, fejtármérfőre és a fej- valamint gyökértömegre.

Összességében elmondható, hogy aeropónikus rendszerben a 'Május királya' fejes saláta termesztéséhez szükséges a napi 10x15 perc tápoldatozás.

Kulcsszavak: aeropónia, salátatermesztés, zárt termesztés, termelési paraméterek

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A hagyományos mezőgazdaságban nem ellenőrzött környezetben zajlik a termesztés, amely magával hozza a növénybetegségeket, a talajromlást és az erőforrások növekvő szükségességét (Hati és Singh 2021). Az élelmiszerek iránti növekvő kereslet miatt a mezőgazdaság szerepe megköveteli az erőforrások hatékony felhasználását és a termés növelését (Méndez és Guzmán et al. 2022). A gazdálkodási rendszerek javításának egyik lehetősége a növényt érő stressz figyelésére és a termesztés stresszt okozó tényezőire összpontosít (Hassan et al. 2021). 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), 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, melyek a növénytermesztési technológiákban sok bizonytalanságot okoznak. Ennek következtében különböző innovatív növénytermesztési és kertészeti technológiák jelentek meg a víz és az energia hatékony felhasználására, amellyel, hogy a több termés termesztésének növelésében rejlő előnyökkel járnak. Ilyen innovatív rendszereket jelentenek a talaj nélküli növénytermesztési rendszerek (hidropónia, akvapónia, aeropónia). A talaj nélküli termesztés olyan módszer, amely a növényeknek a szükséges tápanyagokkal és vízzel való ellátását a talajtól elszigetelt rendszerben biztosítja (Asaduzzaman et al. 2015). Ezen rendszerek közül kiemelkednek az aeropónikus rendszerek, melyek a modern mezőgazdaság leggyorsabban növekvő ágazatát jelentik (Lakhiar et al. 2019), és alkalmazásukat az élelmezésbiztonság, valamint a fenntartható fejlődés szempontjából a legjobb növénytermesztési módszerek tartják, mivel folyamatos, elegendő, friss és higiénikus zöldségellátást biztosít (Gopinath et al. 2017). A hagyományos termesztéshez képest az aeropónikus rendszerek lényegesen kevesebb növényvédelmet igényelnek, valamint az egységnyi területre vetített termés mennyisége kétszer-háromszor nagyobb lehet, mint a hagyományos művelésnél, emellett vízhatékonyak (1 kg szárazanyagra vetítve kevesebb vizet használnak fel, mint például a hidropónikus rendszerek), minimális erőforrás-bevitelt igényelnek (Kerns és Lee 2017), és többszöri betakarítást tesznek lehetővé a maximális hozam érdekében (Otazú 2014).

A fejes saláta (*Lactuca sativa* L.) a legfontosabb friss zöldségféléink közé tartozik, leveleit általában salátakeverékekben és szendvicsekben fogyasztjuk (Terbe 2005; Samuolienė et al. 2009). A fejes saláta hűvös évszakú növényként az összes kontinensen széles körben termesztett, különösen a

mérsékelt és szubtrópusi régiókban. Napjainkban számos kutató érdeklődését felkeltette a beltéri kísérletekben való alkalmazása magas tápértéke és ásványi anyag tartalma miatt (Michelon et al. 2020). Ezért tesztnövényként mi is a fejet képző salátát (*Lactuca sativa* L., 'Május királya') választottuk. A szakirodalmak alapján aeropónikus rendszerekben tápoldattal összefüggésben a fűvóka cseppmérete és a tápoldatozási intenzitás lehetnek a termesztett növény fizikai és beltartalmi paramétereit befolyásoló fő paraméterek a fény mellett (Paz et al. 2019; Tunio et al. 2021).

Kutatásunk során azt feltételeztük, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással van a fejes saláta növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre. Így e vizsgálat célja az volt, hogy meghatározzuk a különböző tápoldatozási intenzitások hatását az aeropónikusan termesztett 'Május királya' fejes salátára.

Anyag és módszer

A kísérlet beállítása a Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék aeropónikus laboratóriumában történt. A kísérlethez 'Május királya' fejet képző salátafajtát választottunk.

Növénynevelés és az aeropónikus rendszer jellemzői

A salátamagok csíráztatása 3,6x3,6x4 cm méretű kőzetgyapot termesztőkockán, zárt Mammoth Lite 80+ típusú beltéri palántanevelő sátorban történt. A csíráztatott növényeket SANLIGHT q5w GEN2 típusú palántanevelő lámpával világítottuk meg 400-780 nm hullámhossz tartományú fényvel. A kőzetgyapot kockát a csíráztatáshoz alkalmazott tápoldattal telítettük, majd minden kőzetgyapotszálkockába négy darab magot helyeztünk el, végül perlit takaróanyaggal szórtuk meg a termesztőkockák tetejét. A palántákat az [1. táblázat](#)ban feltüntetett tápoldatokkal neveltük 12 napig.

1. táblázat. A növénynevelés során alkalmazott tápoldatok

	Csíráztatás	Első gyökerek	Első lomb- levelek	Növekedési fázis
A tápoldat	0,25 ml/L*	0,5ml/L	1ml/L	1,8ml/L
B tápoldat	0,25 ml/L	0,5ml/L	1ml/L	1,2ml/L
C tápoldat	0,25 ml/L	0,5ml/L	1ml/L	0,6ml/L

*Megjegyzés: A megadott mennyiségek az 1 liter ioncserélt vízhez adott tápoldat mennyiségeket jelzik a csíráztatástól a növekedés fázisig.

*Note: The quantities given are the amounts of nutrient solution added to 1 liter of deionized water from germination to the growth phase.

Table 1. Nutrient solutions used in growing plants

Az alkalmazott tápoldatok esetén az egyes fenofázisokban a következő fajlagos vezetőképesség értékeket kaptuk a tápoldat bekeverésekor: csíráztatás – 0,15-0,2 dS cm⁻¹, első gyökerek – 0,3-0,6 dS cm⁻¹, első lomblevelek – 0,8-1,2 dS cm⁻¹, növekedési fázis – 1,3-1,8 dS cm⁻¹.

Az alkalmazott tápoldatok összetételét a [2. táblázat](#)ban mutatjuk be.

2. táblázat. Palántaneveléskor és az aeropónikus rendszerben alkalmazott tápoldatok összetétele

	A tápoldat	B tápoldat	C tápoldat
N	3%	-	5%
P₂O₅	1%	5%	-
K₂O	6%	4%	1,3%
MgO	1%	3%	-
SO₄⁻	-	5%	-
B	-	-	0,01%
CaO	-	-	7%
Cu	-	-	0,01%
Fe	-	-	0,12%
Mn	-	-	0,05%
Mo	-	-	0,004%
Zn	-	-	0,015%

Table 2. Composition of nutrient solutions used for plant growth and in the aeroponic system

A 12. napon a BBCH skála (Feller et al. 1995) szerinti 1.3. stádiumban - Levélfejlődés, harmadik igazi lomblevél - a tesztnövények átlagos levélszáma 3,8±0,4 db, átlagos magassága 3,37±0,35 cm volt, ekkor telepítettük be a növényeket a víz- és energiahatékony, teljesen fény-, hő- és páratartalom-kontrollált aeropónikus növénytermesztési rendszerbe. Az aeropónikus rendszerben 16 óra fény/8 óra sötét megvilágítást alkalmaztunk ([3. táblázat](#)), a növények fölött 85 cm-re elhelyezett FA-GTR Research Toplight négycsatornás lámpatestekkel.

A kísérleti elrendezés öt azonos elrendezésű, felépítésű aeropónikus rendszerből állt (AeroFlo 20, GHE, Fleurance, Franciaország). 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 tápoldatmennyiséggel. A tápoldatot egységenként egy Sicce Syncra Silence 1,5 típusú szivattyú folyamatosan keringtette, és a tápoldatot a növényekhez fűvókákon keresztül juttatta el.

3. táblázat. Kísérletben alkalmazott fényreceptúra

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 3. Light recipe used in the experiment

A négy kísérleti elrendezésben azonos tápoldatozást kaptak a tesztnövények, a kezeléseket a tápoldatozási intenzitások jelentették (4. táblázat).

4. táblázat. Az aeropónikus rendszerben alkalmazott kísérleti beállítások

Kezelés elnevezése	Szivattyú működés időpontja	Napi szivattyúkapcsolások száma
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 4. Experimental settings used in the aeroponic system

A kísérlet során négy különálló kezelésben termesztettük a növényeket. Egy kezelésben a növények egymástól 10,5 cm távolságra helyezkedtek el. A kísérlet során nem alkalmaztunk semmilyen növényvédelmi technológiát, kizárólag rovarfogó lapokat, melyeket a természetegység felett helyeztünk el, a növényektől 10 cm-es magasságban.

Az aeropónikus rendszerben a levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának adatait óránként gyűjtöttük és a napi értékeket átlagoltuk (1. ábra).

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

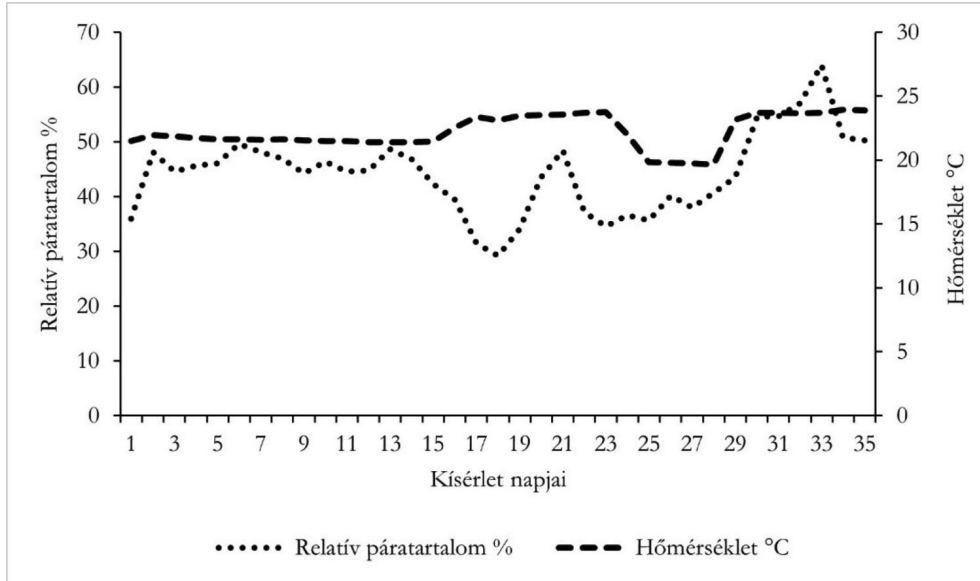


Figure 1. Temperature and relative humidity in the aeroponic system during the experiment

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 növekedő relatív páratartalmat a rendszer már nem tudta kompenzálni, így a szobán belüli páratartalom folyamatosan emelkedett, ahogy az az 1. ábrán is megfigyelhető.

Elvégzett vizsgálatok, alkalmazott eszközök

A növényállományban heti rendszerességgel az alábbi méréseket végeztük el: fejtármérő (cm), levélszám (db), SPAD-érték. A növényállományban betakarításkor az alábbi méréseket végeztük el (fentiek mellett): nedves biomassa tömeg (g), gyökérhossz (cm), gyökértömeg (g), összes klorofill-tartalom/összes karotinoid-tartalom (µg/g) aránya.

Minden vizsgált paraméter meghatározása, mérése ötszörös ismétlésben történt.

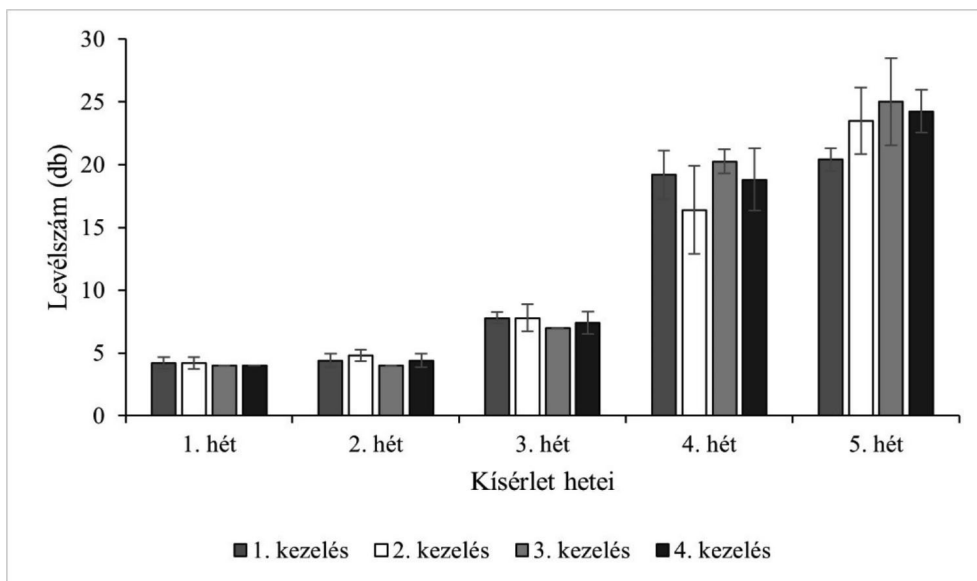
A tápoldatozási intenzitások közötti különbségek összehasonlítására egytényezős varianciaanalízist végeztünk 5%-os szignifikancia szint mellett R szoftverben, RStudio felhasználói környezetben.

Eredmények

Növényállományban heti rendszerességgel végzett mérések eredményei

A növényállományban heti rendszerességgel határoztuk meg a levélszám alakulását (2. ábra). Az ábra alapján megfigyelhető, hogy a betelepítéstől (1. hét) a felszámolásig (5. hét) folyamatosan nőtt a fejes saláták levélszáma: a kísérlet öt hete alatt $4,00 \pm 0,00$ db és $20,25 \pm 0,96$ db között alakult.

2. ábra. Levélszám alakulása kezelésként a kísérlet 5 hete alatt



Megjegyzés: Az oszlopok az átlag értékeket, a vonalak pedig a szórást mutatják.

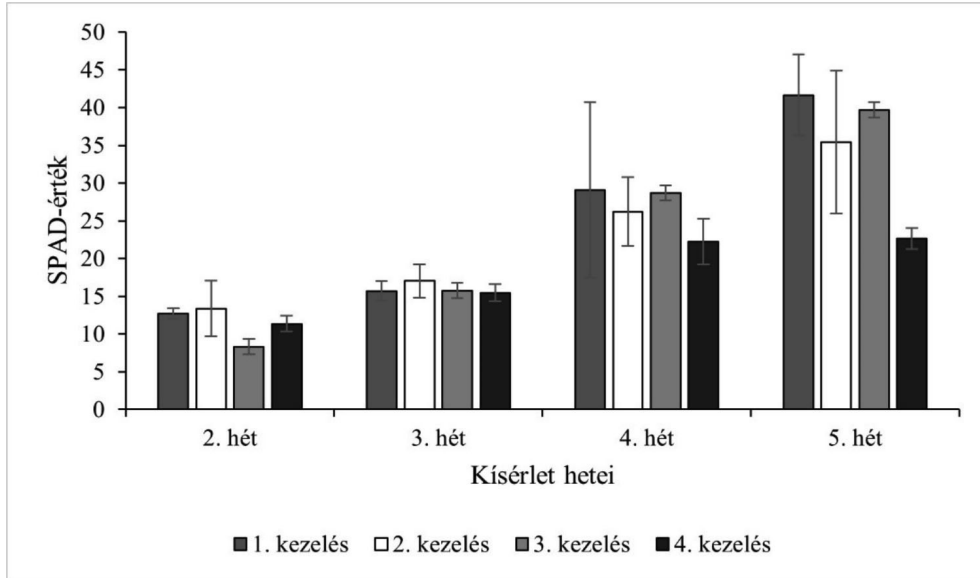
Note: The column heights are the mean values and the lines are the standard deviation.

Figure 2. Evolution of the number of leaves during the 5 weeks of the experiment

A harmadik héten történt tápoldat cserét követően a 4. héttől tapasztalhatóak voltak a kezelések közötti különbségek. A statisztikai elemzés alapján a kezelések átlagos levélszáma között nem tudtunk szignifikáns különbséget igazolni ($p < 0,05$). Az 'Ausztráliai sárga' tépősalátával szemben, melynek alsó levelei elszáradtak, s a nagyra nőtt „bokrok” miatt nem fértek el egymás mellett az aeropónikus rendszerben a növények, ebből eredt az egyes hetek közötti csökkenő levélszám (Gorliczay et al. 2023), azonban a fejes saláta esetében ezt nem tapasztaltuk, ahogyan a levélszám csökkenést sem az egyes hetek között.

A relatív klorofill-tartalom (SPAD) mérés során a levél klorofill-a mértékét lehet meghatározni, ugyanis a klorofill eltérő mértékben nyeli el a különböző hullámhosszúságú fényt, így a fénykioltás mértékéből következtetni lehet a levél klorofill-tartalmára (3. ábra).

3. ábra. A SPAD-érték alakulása a kísérlet öt hete alatt



Megjegyzés: Az oszlopok az átlag értékeket, a vonalak pedig a szórást mutatják
 Note: The column heights are the mean values and the lines are the standard deviation

Figure 3. Evolution of the SPAD value during the five weeks of the experiment

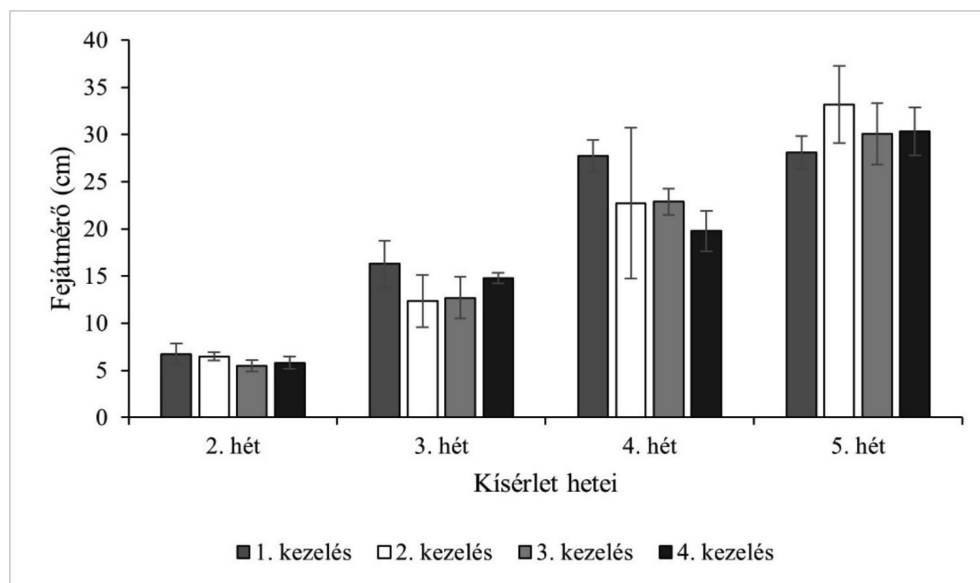
A SPAD-érték alakulásáról elmondható, hogy az első héten (betelepítéskor) nem tudtuk megmérni a salátákat, ugyanis egészen kicsi volt még a mérhető levélfelület. A 2. héttől kezdve azonban növekedett a SPAD-érték mindegyik kezelés esetén. A legmagasabb SPAD-értékeket mindegyik mérési héten az 1. kezelés esetén kaptuk, még a legalacsonyabbakat a 4. kezelés esetén. A statisztikai elemzéssel is bebizonyítottuk, hogy a relatív klorofill-tartalom alakulására hatással van a tápoldatozási intenzitás alakulása, ugyanis a kezelések között szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni ($p < 0,05$).

A fejtátmérő alakulását is heti rendszerességgel határoztuk meg (4. ábra).

A fejtátmérő esetén is megfigyelhető a levélszám (2. ábra) esetén látható tendencia, azaz, hogy a harmadik heti tápoldat cserét követően jelentős különbségek tapasztalhatók a fejtátmérő alakulásában, mely a friss tápoldat növényekre gyakorolt pozitív hatásával hozható összefüggésbe. A fejtátmérő esetén minimális csökkenést is megfigyelhetünk, mely azzal magyarázható, hogy néhány

alsó levelet, melyek elszáradtak, eltávolítottunk. A legnagyobb fejátmérőt - ha a kezelési heteket vesszük figyelembe - az 1. kezelés esetén kaptuk, mégis a statisztikai elemzés alapján a kezelések fejátmérői között nem volt szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

4. ábra. Fejátmérő alakulása a kísérlet öt hete alatt



Megjegyzés: Az oszlopok az átlag értékeket, a vonalak pedig a szórást mutatják
 Note: The column heights are the mean values and the lines are the standard deviation

Figure 4. Evolution of head diameter during the five weeks of the experiment

Növényállományban betakarításkor végzett mérések eredményei

A kísérlet 30. napján került felszámolásra a kísérlet, mely során kiemeltük a növényeket a hidro-cseréppel együtt az aeropónikus rendszerből, így lehetőségünk nyílt arra, hogy a növények torzsáját elválasszuk a gyökértől, s vizsgáljuk azokat (5. táblázat).

Az 5. táblázat alapján elmondható, hogy a fejátmérő és a nedves biomasza tömeg között összefüggés van: a nagyobb fejátmérő nagyobb nedves biomasza tömeget eredményezett. Kísérletünkben az 1. kezelés esetén kaptuk a legnagyobb fejátmérőt ($27,7 \pm 1,67$ cm) és nedves biomasza tömeget ($45,71 \pm 10,92$ g), s ezen két paraméter esetén szignifikáns különbséget tapasztaltunk a kezelések között ($p < 0,05$). A gyökértömeg és a gyökérhossz esetén is ugyanez a tendencia figyelhető meg: a nagyobb gyökérhossz nagyobb gyökértömeget eredményezett. Gyökértömeg esetén nem volt szignifikáns különbség a kezelések között, ezzel szemben a gyökérhossz esetén a tápoldatozási

intenzitás csökkenésével a gyökérhossz csökkent ($p < 0,05$). Tunio et al. (2022) vizsgálatai során ezzel szemben arra jutottak, hogy a tápoldatozási intenzitásnak nincsen hatása a gyökérhossz alakulására fejes saláta aeropónikus rendszerben történő nevelése esetén. Levélszám esetén nem tapasztaltunk különbséget a kezelések között. A SPAD-érték alakulása is bizonyította azt, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással van a növény klorofill-tartalmának alakulására, melyet a roncsolásos módszerrel végzett vizsgálatokkal is be tudtuk bizonyítani. Az 1. és 2. kezelés, valamint a 3. és 4. kezelés statisztikailag külön csoportot alkot ($p < 0,05$), s ezen kezelések tápoldatozási intenzitás tekintetében is közel állnak egymáshoz. Az összes klorofill/összes karotinoid aránnyal a növények vitalitását tudtuk meghatározni, valamint a növényzet fotoszintézisének, fejlődésének és a stresszre adott válaszreakcióknak a mutatója is. A növények fotoszintetikus pigmentjei közül a legfontosabbak a klorofill és a karotinoidok, ezek a színtestek elnyelik és hasznosítják a növényre jutó fényt a fotoszintézisen keresztül. 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 következik be. Az általunk vizsgált klorofill/karotinoid arány esetén arra jutottunk, hogy a tápoldatozási intenzitás nem befolyásolja szignifikánsan ezen paraméterek alakulását, közel hasonló értékeket kaptunk mind a négy vizsgált kezelés esetén. Tunio et al. (2022) a fotoszintetikus pigmenteket vizsgálva arra jutottak, hogy a tápoldatozási intenzitás szignifikánsan hatott ezen paraméter alakulására.

5. táblázat. A növényállomány betakarításakor végzett vizsgálatok eredményei

	1. kezelés	2. kezelés	3. kezelés	4. kezelés
Nedves biomassa-tömeg (g)	45,71 ± 10,92 a	40,49 ± 3,06 a	40,61 ± 9,41 a	24,81 ± 7,74 b
Fejátmérő (cm)	27,7 ± 1,67 a	22,72 ± 7,98 ab	22,88 ± 1,39 ab	19,76 ± 2,12 b
Gyökértömeg (g)	22,89 ± 3,91 a	19,31 ± 4,54 a	17,68 ± 2,74 a	18,42 ± 5,11 a
Gyökérhossz (cm)	76,88 ± 12,21 a	41,60 ± 4,51 b	42,50 ± 7,94 b	36,96 ± 3,50 ab
Levélszám (db)	19,2 ± 1,92 a	16,4 ± 3,51 a	20,25 ± 0,95 a	12,8 ± 2,48 a
SPAD-érték	36,78 ± 11,84 a	42,32 ± 13,25 a	28,2 ± 9,43 b	22,64 ± 1,38 b
Össz. klorofill- (µg/g) / Össz. karotinoid- tartalom (µg/g) arány	5,69 ± 0,95 a	5,32 ± 0,76 a	6,04 ± 1,03 a	5,40 ± 0,32 a

*Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

* No significant difference between treatments with the same letter ($p < 0,05$).

Table 5. Results of measurements at the end of the experiment

Megvitatás

Kutatásunk során azt feltételeztük, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással van a fejes saláta növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre, mindezek alapján a célunk az volt, hogy meghatározzuk a különböző tápoldatozási intenzitások hatását az aeroponikusan termesztett 'Május királya' fejes salátára. Hasonló kutatást végeztek Tibbitts és munkatársai (1994) is, s tanulmányuk arról számolt be, hogy folyamatos tápoldatozás esetén a növények „függővé válnak” a folyamatos permetezéstől, és bármilyen, a tápoldatozásban fellépő szünet a növények pusztulását okozza. A folyamatos tápoldatozás hozzájárulhat gombás és baktériumos növekedéshez a növények közelében vagy rajtuk. A tápoldatozás pontos időközönkénti ütemezése egészségesebb növényt eredményezhet. A tápoldatozás időközének és időtartamának megfelelő beállítása hozzájárulhat ahhoz, hogy a növények polcállósága nőjön és csökkenhet a kórokozók előfordulása is (Chohura et al. 2004).

Jelenleg a világon a növénytermesztés mintegy 3,5%-a fóliasátrak és üvegházak alatt termesztett zöldségek termelésére alkalmazott talajmentes mezőgazdasági technikákra épül, mint például a hidropónikus (úszó rendszerek, tápanyagfóliás technika (más néven NFT) vagy aeropónikus rendszerek (Hickman 2016; Sambo et al. 2019). Ez a jelentős elterjedés a mezőgazdasági területeken kétségtelenül felhívja a figyelmet ennek a termelési megközelítésnek a sok előnyére, az élelmezési erőforrások, beleértve a vizet is, hatékonyabb felhasználása mellett (Kinoshita et al. 2016; Rodriguez-Ortega et al. 2017). Az aeropónikus módszer egy olyan növénytermesztési technika, amelyben a növények gyökerei tápoldat ködben vannak. Ez a módszer számos előnnyel jár a hagyományos talaj alapú termesztéshez képest, különösen a saláta esetében. Ilyen előnyök például a jobb tápanyagfelvétel, a gyorsabb növekedés, víztakarékosság és a kontrollált környezet.

A kutatásunk alapján megállapítható, hogy az aeropónikus rendszerben való 'Május királya' fejes saláta termesztésének hatékonysága és a vizsgált paraméterek szempontjából a tápoldatozási intenzitás szerepe kiemelkedő fontosságú. A SPAD-értékek azt mutatták, hogy minél gyakoribb volt a napi tápoldatozás, annál magasabb SPAD-értékeket kaptunk. A 10x15 perces tápoldatozás (1. kezelés) esetén a legmagasabb SPAD-értékeket tapasztaltuk az 5. hétre. Ez arra utal, hogy a rendszeres és gyakori tápoldatozás előnyös a növény fotoszintézisének és tápanyagfelvételének szempontjából. Az 1. kezelés, vagyis a napi 10x15 perces tápoldatozás eredményezte a legnagyobb gyökér- és fejtömegeket. Mindezek alapján a magasabb tápoldatozási intenzitás pozitív hatással van a gyökér- és fejtömeg növekedésére, ami jelentőséggel bír a terméshozam és minőség szempontjából. Bár a fejtármérő és levélszám tekintetében nem voltak kimutatható szignifikáns különbségek a kezelések között, fontos megjegyezni, hogy a magasabb tápoldatozási intenzitás pozitívan hatott ezen paraméterek alakulására. Összességében elmondható, hogy az aeropónikus rendszerben a 'Május királya' fejes saláta optimális növekedéséhez javasolt a napi 10x15 perces tápoldatozás alkalmazása. Ez a gyakori tápoldatozás biztosítja a megfelelő tápanyagellátást és optimális körülményeket a fotoszintézishez és növekedéshez. Emellett további kutatásokra lehet szükség a tápoldatozási időtartam és intenzitás optimális egyensúlyának meghatározásához más salátafajtákon és körülmények között.

Köszönetnyilvánítás

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

Felhasznált irodalom

1. Asaduzzaman, M., Saifullah, M., Mollick, A.S.R., Hossain, M.M., Halim, G. and 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.
2. Chohura, P., Komosa, A. and Kołota, E. 2004. Wpływ pH pożywek na dynamikę zawartości makroelementów w liściach pomidora szklarniowego uprawianego na wełnie mineralnej. *Rocz AR Pozn CCCLVI, Ogrodn.* 37: 29–35.
3. Feller, C., Bleiholder, H., Buhr, L., Hack, H., Hess, M., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., van den Boom, T. and Weber, E. 1995. Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen. I. Zwiebel-, Wurzel-, Knollen- und Blattgemüse. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 47(9): 217–232.
4. Ferrante, A., Martinetti, L. and Maggiore, T. 2009. Biochemical changes in cut vs. intact lamb's lettuce (*Valerianella oleria*) leaves during storage. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(5): 1050–1056.
5. Gopinath, P., Vethamoni, I.P. and Gomathi, M. 2017. Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. *Chemical Science and Review Letters*, 6(22): 838–849.
6. Gorliczay, E., Montvai, K., Tamás, J. and Nagy, A. 2023. Testing the effects of different nutrition times with lettuce test plant in aeroponic conditions. In: *The 22nd International Conference Life Sciences for Sustainable Development: Book of Abstracts / University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine of Cluj-Napoca, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca*, 230.
7. Gruda, N., Bisbis, M. and 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.
8. Hassan, S.I., Alam, M.M., Illahi, U., Al Ghamdi, M.A., Almotiri, S.H. and Suud, M.M. 2021. A Systematic Review on Monitoring and Advanced Control Strategies in Smart Agriculture. *IEEE Access*, 9: 32517–32548.
9. Hati, A.J. and Singh, R.R. 2021. Smart Indoor Farms: Leveraging Technological Advancements to Power a Sustainable Agricultural Revolution. *AgriEngineering*, 3: 728–767.
10. Hickman, G. 2016. *International greenhouse vegetable production – Statistics*. Mariposa, CA, USA: Cuesta Roble Greenhouse Vegetable Consulting.
11. Kerns, S.C. and Lee, J.L. 2017. Automated Aeroponics System using IoT for Smart Farming. 8th International Scientific Forum, ISF, UNCP, USA.
12. Khan, S., Yu, H., Li, Q., Gao, Y., Sallam, B.N. and 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.
13. Kinoshita, T., Yamazaki, H., Inamoto, K. and Yamazaki, H. 2016. Analysis of yield components and dry matter production in a simplified soilless tomato culture system by using controlled-release fertilizers during summer-winter greenhouse production. *Sci. Hortic.* 202: 17–24.
14. Lakhari, I.A., Gao, J., Xu, X., Syed, T.N., Chandio, F.A. and Jing, Z. 2019. Effects of various aeroponic atomizers (droplet sizes) on the growth, total polyphenol content and antioxidant activity of leafy lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Transactions of the ASABE*, 62(6): 1475–1487.
15. Méndez-Guzmán, H.A., Padilla-Medina, J.A., Martínez-Nolasco, C., Martínez-Nolasco, J.J., Barranco-Gutiérrez, A.I., Contreras-Medina, L.M. and Leon-Rodríguez, M. 2022. IoT-Based Monitoring System Applied to Aeroponics Greenhouse. *Sensors*, 22: 5646.
16. Michelon, N., Pennisi, G., Myint, N.O., Dall'Olio, G., Batista, L.P. and 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.
17. Otazú, V. 2014. *Manual on quality seed potato production using aeroponics*. Lima (Peru): International Potato Center (CIP). 44.

18. Paz, M., Fisher, P.R. and Gómez, C. 2019. Minimum Light Requirements for Indoor Gardening of Lettuce. *Urban Agriculture & Regional Food Systems*, 4(1): 1–10.
19. Rodríguez-Ortega, W.M., Martínez, V., Rivero, R.M., Camara-Zapata, J.M., Mestre, T. and Garcia-Sanchez, F. 2017. Use of a smart irrigation system to study the effects of irrigation management on the agronomic and physiological responses of tomato plants grown under different temperatures regimes. *Agric. Water Manag.* 183: 158–168.
20. Sambo, P., Nicoletto, C., Giro, A., Pii, Y., Valentinuzzi, F., Mimmo, T., Lugli, P., Orzes, G., Mazzetto, F., Astolfi, S., Terzano, R. and Cesco, S. 2019. Hydroponic Solutions for Soilless Production Systems: Issues and Opportunities in a Smart Agriculture Perspective. *Front. Plant Sci.* Vol. 10. doi: 10.3389/fpls.2019.00923.
21. Samuolienė, G., Urbonavičiūtė, A., Duchovskis, P., Bliznikas, Z., Vitta, P. and Žukauskas, A. 2009. Decrease in nitrate concentration in leafy vegetables under a solid-state illuminator. *HortScience*, 44(7): 1857–1860.
22. Terbe I. 2005. Zöldségtermesztés termesztőberendezésekben. *Mezőgazdasági Kiadó Budapest*. 191-199.
23. Tibbitts, T.W. and Cao, W. 1994. Solid matrix and liquid culture procedures for growth of potatoes. *Advances in Space Research*, 14(11): 427–433.
24. Tunio, M.H., Gao, J., Lakhari, I.A., Solangi, K.A., Qureshi, W.A. and Shaikh, S.A. 2021. Influence of atomization nozzles and spraying intervals on growth, biomass yield, and nutrient uptake of butterhead lettuce under aeroponics system. *Agronomy*, 11(1): 97–113.
25. Tunio, M.H., Gao, J., Qureshi, W.A., Sheikh, S.A., Chen, J., Chandio, F.A., Lakhari, I.A. and Solangi, K.A. 2022. Effects of droplet size and spray interval on root-to-shoot ratio, photosynthesis efficiency, and nutritional quality of aeroponically grown butterhead lettuce. *Int J Agric & Biol Eng.* 15(1): 79-88.
26. Tunio, M.H., Gao, J., Shaikh, S.A., Lakhari, I.A., Qureshi, W.A. and 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.

**Effect of spray intervals on the development of 'May King' lettuce (*Lactuca sativa* L.)
in aeroponic cultivation**

GORLICZAY, E.^{1,2}, MONTVAI, K.¹, TAMÁS, J.^{1,2},
SZABÓ, A.³, NAGY, A.^{1,2}

¹University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Water and Environmental Management, Department of Water Science and Environmental Informatics

²National Laboratory of Water Science and Water Safety, University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Water and Environmental Management, Department of Water Science and Environmental Informatics

³University of Debrecen, Faculty of Agricultural and Food Sciences and Environmental Management, Institute of Crop Sciences, Department of Plant Breeding and Landscape Ecology

E-mail: edit.gorliczay@agr.unideb.hu

Summary

In aeroponic systems the droplet size of the nozzles, the nutrient intensity and the light are the most important parameters that influence the physical and nutritional parameters of the plant. The aim was to determine whether a more or a less frequent nutrient application intensity is more effective for the cultivation of ‚May King’ lettuce and for the parameters studied. In the experiment, ‚May King’ lettuce (*Lactuca sativa* L.) test plants were grown for five weeks in five replicates in a closed, climate-controlled aeroponic system. Four treatments were set up in the aeroponic system (AeroFlo20), which represented different nutrient application intensities: treatment 1 - 9x15 min per day, treatment 2 - 8x8 min per day, treatment 3 - 4x15 min per day, treatment 4 - 2x30 min per day. During the experiment the head diameter, leaf number and SPAD value were determined weekly; the head weight, root weight, root length and total chlorophyll/total carotenoid ratio were determined at the end of the experiment.

The results showed that there were no significant differences between treatments for leaf number and head diameter ($p < 0.05$). SPAD values increased with the number of daily nutrient applications (especially in treatments 1 and 2) and became higher by week 5: 42.32 ± 13.25 for treatment 1 and 44.32 ± 13.25 for treatment 2. The root and head weight were consistent with the development of root length and head diameter: the highest values were measured in the 1st treatment, so the higher daily nutrient solutions had a positive effect on root length, head diameter and head and root weight.

Based on our results it can be concluded that the cultivation of ‚May King’ lettuce in an aeroponic system requires 9x15 minutes of nutrient intensity per day.

Keywords: aeroponics, lettuce production, closed cultivation, production parameters

Szerzők:

Gorliczay Edit (kapcsolattartó szerző) – PhD, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Montvai Kornélia – Okleveles környezetgazdálkodási agrármérnök, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Tamás János – DSc, egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Szabó András – PhD, egyetemi adjunktus, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Növény tudományi Intézet, Növénytermesztéstan, Tájökológiai és Növény nemesítési Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

Nagy Attila – PhD, egyetemi tanár, Debreceni Egyetem, Mezőgazdaság, Élelmiszertudományi- és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék, 4032 Debrecen, Böszörményi út 138.