

Debreceni Egyetem
Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet

Intézetvezető:

Prof. Dr. Tamás János, egyetemi tanár

**A TÁPOLDATOZÁSI IDŐ HATÁSA AZ AUSZTRÁLIAI SÁRGA
TÉPŐSALÁTA (*LACTUCA SATIVA* VAR. *CRISPA*) ÉS A
RUKKOLA (*ERUCA SATIVA*) FEJLŐDÉSÉRE AEROPONIKUS
TERMESZTÉS ESETÉN**

Készítette: Montvai Kornélia

Környezetgazdálkodási agrármérnök MSc jelölt

Témavezető: Dr. Gorliczay Edit

tanársegéd

Debrecen

2023

Tartalomjegyzék

Bevezetés.....	4
1.Témafelvetés, célkitűzés	5
2. Szakirodalmi áttekintés.....	6
2.1. Növénytermesztés helyzete a klímaváltozás tükrében.....	6
2.1.1. Kertészeti termelés és a klímaváltozás	8
2.1.2. Salátatermesztés helyzete	8
2.2. Növénytermesztés talaj nélküli rendszerekben	10
3. Anyag és módszer	16
3.1. A kísérletekben alkalmazott tesztnövények	16
3.2. Csíráztatás és palántanevelés körülményei	17
3.3. Aeropónikus rendszer jellemzői és a kísérlet beállítása.....	18
3.3.1. Klímakörülmények az aeropónikus rendszerben	20
3.4. Elvégzett vizsgálatok, alkalmazott eszközök.....	21
3.4.1. Beltartalmi vizsgálatok.....	21
Összes klorofill és karotinoid-tartalom meghatározás módszertana	21
Vízpotenciál mérés módszertana.....	22
Nitrát-tartalom meghatározás	23
3.4.2. Fizikai vizsgálatok.....	23
Növénymagasság.....	23
Levélszám.....	23
Gyökérhossz	23
3.5. Eredmények statisztikai értékelése	23
4. Eredmények és értékelésük.....	24
4.1. Fizikai vizsgálatok eredményei	24
4.1.1.Növénymagasság.....	24
4.1.2.Levélszám.....	27
4.1.3.Gyökérhossz	29
4.2. Beltartalmi vizsgálatok	31
4.2.3.Vízpotenciál	36
4.2.4. Nitrát-koncentráció alakulása a salátalevelekben	37
Következtetések és javaslatok	39
Összefoglalás	41
Irodalomjegyzék	42
Ábrák, táblázatok jegyzéke	46

Köszönetnyilvánítás.....	47
---------------------------------	-----------

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; MICHELON 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). Akár már 1°C hőmérséklet emelkedés is azt eredményezheti, hogy a hagyományos mérsékelt övi növények termesztési határa 300 kilométerrel északra tolódik (HÍRADÓ, 2018). A globális éghajlatváltozás várhatóan növelni fogja a gyakori aszályok, belvizek, időjárási szélsőségek kockázatát, mely a növénytermesztési technológiákban sok bizonytalanságot okoz. A szélsőséges időjárási jelenségek komoly kihívást jelentenek majd az Európai Unió tagállamaira nézve is. Habár a mezőgazdaság nagy alkalmazkodási képességgel bír, a jövőben olyan beruházásokra lesz szükség, amelyek nagyban növelni fogják a termelés költségeit. A növénytermesztési programok megfelelő irányba való fejlődéséhez elengedhetetlen az alapos tervezés és a jövőbeni állapotok alapos feltérképezése.

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 salátára zsugorodott, ami a vizsgált időszak tekintetében 18%-os terület és 31%-os termésmennyiség csökkenést mutat. Ennek egyik oka a klímaváltozás, illetve az abból következő szélsőséges időjárás: a hideg tavaszok és az extrém meleg nyarak, melyek a salátatermesztés szempontjából kedvezőtlen körülményeket teremtek. Ilyen körülmények között a talaj nélküli termesztés lehet a hatékony alkalmazkodás egyik alternatív technológiája (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).

1. Témafelvetés, célkitűzés

A talaj nélküli növénytermesztési rendszerek közül kiemelkedik az aeropónia, mely a hidropónia egy továbbfejlesztett típusa, és a modern mezőgazdaság leggyorsabban növekvő ágazatát jelenti (LAKHIAR et al, 2019). Alkalmazásukat az élelmezésbiztonság, valamint a fenntartható fejlődés szempontjából a legjobb növénytermesztési módszernek tartják, mivel folyamatos, elegendő, friss és higiénikus zöldségellátást biztosít (GOPINATH et al, 2017). A hagyományos termesztéshez képest lényegesen kevesebb növényvédelmet igényelnek, valamint az egységnyi területre vetített termés mennyisége kétszer-háromszor nagyobb lehet, mint a hagyományos művelésnél. További előnyök még, hogy az aeropónikus rendszerek vízhatékonyak (1 kg szárazanyagra vetítve kevesebb vizet használnak fel, mint például a hidropónikus rendszerek), minimális erőforrás-bevitelt igényelnek (KERNS et al, 2017), és többszöri betakarítást tesznek lehetővé így maximalizálva a hozamokat (OTAZÚ, 2014). Emellett az aeropónikus rendszerek olyan növénytermesztési technológiát valósítanak meg, mely olyan országokban is alkalmazható, ahol kevesebb a megművelhető földterület és az édesvíz (REYESA et al, 2012; MAGDA-MARSELEK, 2000; LAKHIAR et al, 2018, NASA-SPINOFF, 2006).

Kutatásom során aeropónikus körülmények között neveltem két különböző fejet nem képző salátafajtát. A kutatásom kiindulópontja az volt, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással lehet az ausztráliai sárga tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) és a rukkola (*Eruca sativa*) növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre. A kísérlet során 9 hétig neveltem a salátákat ötszörös ismételtsében egy zárt klímaszobában lévő aeropónikus rendszerben, majd mértem a levélszámot, levélhosszt, stressz-paramétereket (Fv/Fm, Fv/Fo), összes klorofill- és karotinoid-tartalmat, nitrát-tartalmat, vízpotenciált. A célom az volt, hogy meghatározzam, hogy a gyakoribb vagy a ritkább tápoldatozási intenzitás hatékonyabb-e a két választott salátafajta termesztése és a vizsgált paraméterek szempontjából.

2. Szakirodalmi áttekintés

2.1. Növénytermesztés helyzete a klímaváltozás tükrében

Az éghajlat világszerte olyan ütemben változik, amilyen mértékben geológiai időben korábban nem volt tapasztalható. Ez befolyásolja magát az élelmiszertermelést, valamint a kórokozók, kártevők növekedését és szaporodását, melyek csökkentik a terméshozamot és a minőséget. Napjainkban a betakarított termények ~20–25%-a vész el a betakarítás előtti és utáni betegségek miatt, és az éghajlatváltozás várhatóan növelni fogja ezeket a veszteségeket. Az éghajlatváltozás és annak szélsőségessége jelenti a mezőgazdaság teljesítményét befolyásoló legnagyobb kihívást, beleértve az egynyári és évelő kertészeti kultúrákat is. A gyümölcs- és zöldségfélék termésének csökkenését valószínűleg a rövid tenyészidőszak fogja okozni, ami negatív hatással lesz a növekedésre és korlátozza a kertészeti termelési rendszereket. Az éghajlatváltozás a gyümölcsök és zöldségek árának emelkedését eredményezheti. A fenntarthatóság és a versenyképesség érdekében új technológiára van szükség. Az egyre növekvő igény kielégítését nehezítik a folyamatosan csökkenő földterületek és a klímaváltozás is (MALHOTRA 2015). Az éghajlatváltozás a hőmérséklet, a csapadék és a szél sebességének és gyakoriságának növekvő változékonyságát eredményezi. Ezek a változások befolyásolják a levegőben és a talajban terjedő kórokozók aktivitását is. Egyes kórokozók, amelyek képesek elpusztítani a növényen lévő termést és a betakarított termést is aktívabbá és károsabbá váltak, mivel földrajzi elterjedésük az éghajlatváltozás következtében bővül.

Az emberi népesség gyorsan növekszik, ami az összes természeti erőforrás iránti egyre nagyobb igényeket eredményez, amelyek messze meghaladják a rendelkezésre álló készleteket (HSIANG et al, 2011). Csak a közelmúltban kezdték meg az ökoszisztéma-szolgáltatások elemzését, amelyek feltárják a felbecsülhetetlen természeti javak bonyolult és kényes hálóját, amelyek létfontosságúak az emberi fenntarthatóság szempontjából. Az éghajlatváltozás, a növekvő emberi élelmiszer-, erőforrás- és térigény, valamint a növényi kórokozók megnövekedett aktivitása óriási kihívások elé állítja a kutatókat (DIXON, 2012). A globális hőmérséklet emelkedés felgyorsítja a növények fejlődését, csökkenti a szemtermést, korlátozza a tápanyag-felhasználás hatékonyságát, növeli a vízfogyasztást és a C₄-es gyomnövényeknek kedvez a C₃-as kultúrnövényekkel szemben. A vízháztartás és a talajban rendelkezésre álló vízmennyiség változása döntő fontosságú a növények növekedése szempontjából (CAMPBELL et al., 1997). A Penman-Monteith-egyenletekkel végzett számítások szerint a potenciális párolgás körülbelül 2-3%-kal nő minden egyes 1°C hőmérséklet-emelkedés esetén

(LOCKWOOD, 1999). Emellett a biomassa- és a termés mennyisége növekedhet a szén-dioxid-koncentráció emelkedésével, a gyökerek, hajtások és levelek közötti szárazanyag-eloszlás is megváltozik. A gyökér és a hajtás aránya növekszik a megemelkedett szén-dioxiddal, ami a gyökér- és gumós növényeknek kedvez. Ezzel szemben az emelkedő hőmérséklet és a csökkent transzspiráció befolyásolja a biomassa és a magtermés beltartalmi paramétereinek alakulását. A nem szerkezeti szénhidrátok szintje növekszik, de a fehérje- és ásványianyagtartalom csökken; ezért a növényevők és az emberek számára egyaránt csökken a táplálék minősége. (DIXON, 2007).

A mezőgazdaság a csapadékmennyiség változékonysága, valamint az esős napok számának csökkenése miatt számos kihívással fog megküzdeni (VENKATESWARLU-SHANKER, 2012). Az öntözött területek bővítésével vagy az öntözés fokozásával nőhet a növénytermesztés, de ez növelheti a környezetromlás mértékét. Mivel az éghajlatváltozás talajvízháztartásra gyakorolt hatása a talaj párolgásában és a növényi transzpirációban bekövetkező változásokat idézi elő, ezért a növénytermesztési időszak a jövőben lerövidülhet, ami hatással lesz a víztermelékenységre. Az éghajlatváltozás által érintett termés hozamok előrejelzések szerint az egyes területeken eltérőek lesznek, egyes területeken a termés hozamok növekedni fognak, más területeken pedig csökkenni fognak a terület szélességétől és az öntözési alkalmazástól függően. A meglévő modellezési eredmények azt mutatják, hogy a csapadék növekedése növeli a termés hozamot, ráadásul a termés érzékenyebb a csapadékra, mint a hőmérsékletre. A hőmérséklet emelkedésével és a csapadék ingadozásával a jövőben valószínűleg csökkenni fog a víz elérhetősége és a növénytermesztés. Az öntözött területek bővítése esetén a teljes növénytermesztés nő; az élelmiszerek és a környezet minősége azonban romolhat. Eközben az éghajlati változékonyság az egyik legjelentősebb évről évre ható növénytermesztést befolyásoló tényező, még a magas hozamú és csúcstechnológiás mezőgazdasági területeken is. Az elmúlt években egyre nagyobb figyelmet fordítanak az éghajlatváltozással összefüggő kockázatokra, ami növeli az élelmiszer-termelés bizonytalanságát. FUJIHARA és MTSAI (2008) rámutattak arra, hogy vízhiány nem jelentkezik, ha a vízigény nem növekszik. Azonban, ha az öntözött területet a jelenlegi öntözési hatékonysági arányok mellett bővítik, vízhiány lép(het) fel. Ezért sürgős az éghajlatváltozás növénytermesztésre és vízkészletekre gyakorolt hatásainak meghatározása az esetleges alkalmazkodási stratégiák kidolgozása. Az éghajlati modelleket integrálni kell más modellezési megközelítésekkel az éghajlati sebezhetőség és az éghajlati paraméterek, például a csapadék és

a hőmérséklet előrejelzéséhez. A növénytermesztéshez kapcsolódó éghajlati változók változása valószínűleg jelentős hatással lesz a regionális és a globális élelmiszertermelésre is. Számos terményszimulációs modellt, mint például a CERES-Maize (Crop Environment Resource Synthesis), a CERES-Wheat, a SWAP (talaj-víz-atmoszféra-növény) (TOJO-SOLER et al, 2007) és az InFoCrop, széles körben használtak a növény lehetséges hatásainak értékelésére (AGGARWAL et al, 2006).

2.1.1. Kertészeti termelés és a klímaváltozás

A zöldségfélék általában érzékenyek a környezeti szélsőségekre. Az alacsony terméshozam fő okai a magas hőmérséklet és a korlátozott vagy a túlzott nedvességtartalom okozta stressz. A talajvízstressz a hagyma korai növekedési szakaszában 26%-os termésvesztést okoz. A paradicsom esetében a 28 °C feletti hőmérséklettel járó vízstressz a különböző fajtáknál 30-45%-os virághullást okoz (SRINIVASA RAO, 1995). A chili esetén az aszálystressz akár 50-60%-os terméskiesést is okozhat. A legtöbb zöldség érzékeny a gyökérzóna oxigénszintjének csökkenésére is. A paradicsomnövények árvízi/belvizes körülmények között endogén etilént halmoznak fel, ami gyors epinasztikus levélreakcióhoz vezet. A hagyma szintén érzékeny az árvízre, fejlődése során, és akár 30-40%-os terméskiesést is okozhat. Ezek a stresszhatások az elsődleges okai a világszerte több mint 50%-os terméskiesésnek (BRAY et al. 2000). Az érés előtti időszakban a hőmérsékleti stressz fejlődési zavarokat okozhat, különösen a porzókban. A hőmérséklet emelkedése befolyásolja a kórokozók, kártevők túlélését, a kártevőpopuláció eloszlását, felgyorsítja a talajban a tápanyagok mineralizációját, csökkenti a műtrágya felhasználást és növeli a transzspirációt. A túlzott esőzés/nedvesség vagy árvíz szintén stresszt okoz az egynyári növényeknek, különösen a zöldségeknek. Kén-dioxid, nitrogén-oxid okozta légszennyezés, ózon és a savas eső káros hatást gyakorolnak a zöldségtermesztésre. Számos zöldségféle, mint például a paradicsom, a görögdiñnye, a burgonya, a tök, a szójabab, a sárgadinnye, a borsó, a sárgarépa és a fehérrépa érzékenyek a légszennyezés okozta károkra. Környezeti levegő szennyezés a terméshozamot akár több mint százalékkal csökkentheti a káposzta (*Brassica oleracea*), saláta (*Lactuca sativa*) és a retek (*Raphanus sativus*) esetében. Valamint 5-15%-os terméscsökkenés várható a zöldségnövények esetében, ha a napi ózonszint koncentrációja eléri az 50 ppb-t (NARAYAN 2009).

2.1.2. Salátatermesztés helyzete

A Központi Statisztikai Hivatal (a továbbiakban: KSH) adatai alapján az utóbbi öt évben hazánkban csökkenő tendenciát mutat a fejes saláta termesztése. 2015-ben még 365 hektárnyi

területen több mint 12 ezer tonna salátát termesztettek a, ez 2019-re 299 hektárnyi területre és 8,3 ezer tonnára zsugorodott. Ez 18%-os terület és 31%-os termésmennyiség csökkenést jelent. Ezen folyamat egyik oka a klímaváltozás, valamint az ebből adódó szélsőséges időjárás. Mindezek mellett a fogyasztói szokások és igények is változáson mennek keresztül, amely a fejes saláták uralmának végét jelentheti. Egyre inkább elterjedté válnak az itthon még kevésbé ismert és populáris fajták. Magyarországon a jégсалáta és a fejes saláta örvend a legnagyobb népszerűségnek, őket követi a vörös és zöld tépősaláta, vagyis a Lollo rosso és a Lollo bionda, tépősaláták, valamint a római saláta. 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 saláta iránti kereslet drasztikusan visszaesett. Az EUROSTAT adatai alapján az Európai Unió évente 2,3-2,4 millió tonna salátát termel. Spanyolország az EU vezető salátatermelője, évi 1 millió tonnával. A februári hideg időjárás Spanyolországban és a magas energiaköltségek Hollandiában csökkenthetik az idei év salátakínálatát. A Központi Statisztikai Hivatal szerint Magyarországon az elmúlt években csökkent a fejes saláta termőterülete és a betakarított saláta mennyisége is. A 2021-es évben 237 hektáron 8,45 ezer tonna fejes salátát termeltek. A behozott mennyiség közel fele (453 tonna) Spanyolországból érkezett. A kivitel 13%-kal csökkent, 938 tonnára - elsősorban Csehországba és Ausztria irányába. A magyar fejessaláta-export értéke 9%-kal 373 millió forintra, az importé 44%-kal 356 millió forintra csökkent 2022-ben. Így mind mennyiségben, mind értékben nettó exportőrként végeztünk - a hazai kereslet drasztikus visszaesésének köszönhetően. A többi saláta mérlege is nagyon negatív. Az egyéb salátafélék exportjából származó bevétel 28 százalékkal 2,8 milliárd forintra nőtt, míg az import értéke 30 százalékkal 6,5 milliárd forintra emelkedett 2022-ben. Mennyiségben kifejezve a behozatal 3 százalékkal (13,2 ezer tonnára) nőtt. A legnagyobb beszállítótól, Spanyolországtól 8,5 ezer tonna salátát vásároltunk. Az export 3 százalékkal, közel 5 ezer tonnára nőtt. Románia szinte a teljes mennyiséget (4,3 ezer tonna) felvásárolta.

Az Agrárgazdasági Kutatóintézet PÁIR adatai alapján a Budapesti Nagybani Piacon a belföldi fejes saláta termelői ára 19 százalékkal 237 forint/darabra, a jégсалáta termelői ára 28 százalékkal 400 forint/darabra, a Lollo típusú tépősaláta (Lollo rosso, Lollo bionda) termelői ára 18 százalékkal 292 forint/darabra emelkedett 2023 első tíz hetében az előző év azonos

időszakához képest. Az importált fejes saláta nagykereskedelmi ára jóval meghaladta a hazai termesztésű saláta árát (MEZŐHÍR, 2023).

A Központi Statisztikai Hivatal adatai szerint Magyarországon a saláta vetésterülete és ezzel együtt a betakarított saláta mennyisége a korábbi években csökkenő tendenciát mutatott: 2020-ban 299 hektáron 7,79 ezer tonna salátát termeltek. Magyarország salátaimportja 2021-ben 29 százalékkal (1,97 ezer tonnára) nőtt az egy évvel korábbihoz képest. A legnagyobb beszállító Spanyolország volt 1,05 ezer tonna salátával. Az export ugyanebben az összehasonlításban 9 százalékkal, 1,07 ezer tonnára csökkent, elsősorban Csehországba és Romániába. A magyar fejessaláta-export értéke 409,9 millió forint volt, míg az import közel 50 százalékkal 627,5 millió forintra nőtt 2021-ben. Az egyéb salátafélék (kivéve a fejessaláta) exportja 2,18 milliárd forint, importja 4,86 milliárd forint értékű volt 2021-ben. A legjelentősebb beszállító Spanyolország volt 7,6 ezer tonna fejes salátával. A kivitel 1%-kal, 4,8 ezer tonnára csökkent 2021-ben. A legnagyobb célpiacnak számító Romániába irányuló szállítások 16%-kal 4 ezer tonnára nőttek. A világjárvány első évében a határok lezárása jót tett a magyar salátaértékesítésnek. Úgy tűnik, hogy ez egyszeri alkalom volt (MEZŐHÍR, 2022).

2.2. Növénytermesztés talaj nélküli rendszerekben

A talaj nélküli termesztés olyan modern növénytermesztési rendszer, amely szerves vagy szervetlen termesztő szubsztrátokat használ, többnyire tápoldattal kombinálva a növények tápanyagellátásához. Ebben a védett termesztési rendszerben a tápoldat mennyiségének és összetételének, valamint a termesztőközegnek a szabályozásával a kertészeti kultúrák terméshozama és minősége jelentősen javítható a hagyományos talajos termesztéshez képest (MASSANTINI et al., 1988; XU et al., 1995).

1. táblázat: A talaj nélküli termesztés előnyei és hátrányai

Előnyök	Hátrányok
- Nem igényel talajt. Ott is alkalmazható, ahol nincs termőtalaj vagy rossz a minőségre	- Megvalósítása jóval költségesebb, mint a talajon történő termesztés
- Könnyen biztosítható a növények számára a víz és tápanyag	- Működtetése egyedülálló, magas szintű tudást és pontosságot igényel
- Nem igényli a rendszer a szerves trágyát	- Alapfeltétele a jó minőségű víz, amely sokszor hiányzik
- Elmarad a talajápolás	- Jól működő szervízhálózatot és energiaszolgáltatást feltételez
- A közeg mentes minden növénytoxikus anyagtól	- Szaktanácsadó hálózatot igényel
- Kevesebb növényvédőszer használat	- Minimális hibázást tolerál a rendszer
- Könnyedebben biztosítható a növények számára az optimális talajhőmérséklet	
- Csökkenthető az emberi tévedés a műszerek használatával	
- Korábbi termést, nagyobb mennyiséget tesznek lehetővé az ideális feltételek.	
- Minimálisra csökkenthető a víz- és tápanyagvesztés, környezetszennyezés	
- Víz újrahasznosítása	
- Jobb tervezhetőség, a termesztés bármely szakaszában	
- Csökkentett műtrágya- és növényvédőszer-kiadások	

Forrás: TERBE-SLEZÁK (2008), AFROFORUM (2022) alapján saját szerkesztés, 2023.

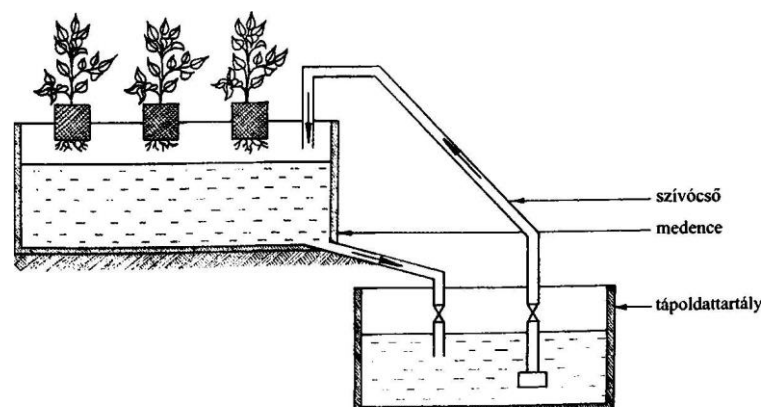
Az 1. táblázat a talaj mentes termesztés előnyeit és hátrányait mutatja be. Az előnyök közé sorolhatjuk magát azt a tényt, hogy nem igényel talajt a termesztés egyik szakasza sem. Ennek köszönhetően bárhol alkalmazható. Nem jelent nehézséget az sem, ha nincs termőtalaj az adott területen vagy, ha rossz a minősége. További pozitívum, hogy könnyű szerrel biztosítható a termesztés alatt a növények számára víz és a tápanyag. Nem igényel szerves trágyát, amely napjainkban egyre nehezebben beszerezhető. A közeg mentes minden növénytoxikus anyagtól, így a talajból származó kártevőkkel és betegségekkel nem kell számolni. Ebből adódóan kevesebb növényvédő szer használat szükséges. Egyszerűbben, így olcsóbban megteremthető a növények számára a megfelelő talajhőmérséklet. Műszerek használatával nagyobb arányban kerülhető el az emberi tevékenység általi tévedés, valamint a szubjektív megítélés. Az optimális feltételek korábban bekövetkező termést, nagyobb termésmennyiséget és jobb minőséget érnek el. A korszerű rendszernek köszönhetően a lehető legkisebbre csökkenthető a talaj-, a víz- és a környezetszennyezés. Az egység működése során, a rendszerben forgó vizet többször is lehet alkalmazni, így a víz újrahasznosításáról beszélhetünk. A megfelelő technikai háttérrel javul a

természbiztonság és jobbá válik a tervezhetőség. Csökkennek a növényvédőszer és műtrágya iránti kiadások. A talaj nélküli termesztésnek ugyanúgy vannak hátrányai, mint előnyei is. A termesztési mód negatívumai közé sorolhatjuk azt, hogy alkalmazása jóval költségesebb, mint a talajon történő termesztés. A rendszer működtetése magasfokú tudást igényel, nem üzemeltetheti bárki, csak az, aki a megfelelő tudással és információval bír hozzá. A megfelelő üzemeltetés alapfeltétele a jó minőségű víz, amely sok esetben hiányzik. Megfelelően működő szervízhálózatot és energiaszolgáltatás szükséges a folytonos működéséhez. Folyamatosan fejlődő szaktanácsadás és szaktanácsadó hálózat szükséges hozzá. A rendszer minimális hibázásokat tolerál.

A talaj nélküli termesztésnek különböző módszerei vannak, ezek közül szeretnék hármat kiemelni. Ez három termesztési mód a hidropónia, az akvapónia és az aeropónia, ezek terjedtek el leginkább a világon. A továbbiakban mutatom be őket részletesen:

Hidropónia

Néhány évtizeddel ezelőtt sokan még nem gondolták volna, hogy termőföld nélkül is lehet friss és egészséges zöldséget termeszteni. A hidropóniás rendszerben (1. ábra) tápoldatban gazdag és oxigénben dús vizet keringetnek. A termesztett növények gyökere beleér ebbe a vízbe és így jutnak a szükséges tápanyaghoz, valamint oxigénhez. A növények meg is tisztítják a vizet így az újra felhasználható lesz. A hidropóniában csakis vizet használnak, mégis jóval kevesebb vizet használnak fel hozzá, mint a földben termesztett növények öntözése során. Ez akár 90%-kal kevesebb vízfelhasználást is jelenthet, így a hidropónia rendkívül víztakarékos termesztési mód (GREENDROPS, 2023).

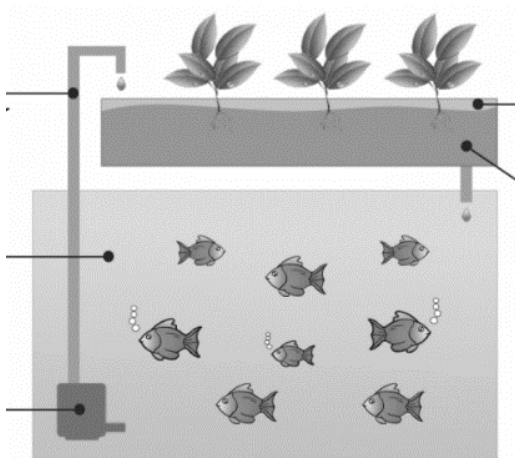


1. ábra: **Hidropónikus rendszer felépítése**

Forrás: TERBE-SLEZÁK (2008) alapján

Akvpónia

Az akvpóniában (2. ábra) az akvakultúra és a hidropónia módszerei egy integrált rendszerben egyszerre vannak jelen. A halak ürüléke, a víz ammóniatartalmát növeli. A halak számára azonban az ammónia mérgező. Egyes baktériumok ezt az ammóniát először nitritté majd a növények számára felvehető tápanyaggá nitráttá alakítják. Ezt a magas nitráttartamú vizet szállítja egy szivattyú a termesztett növényeket nevelő ágyásba. A növények a vízből itt nitrogént vonnak ki. Ez a folyamat táplálja a növényeket, valamint tisztítja a vizet, így az biztonságosan visszajuthat az akváriumba, szinte nitrátmentesen.

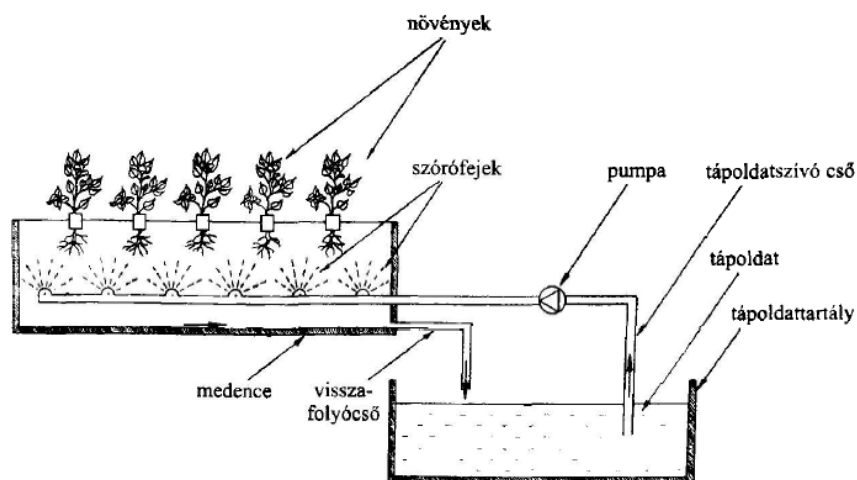


2. ábra: Akvpónikus rendszer felépítése

Forrás: MINAPOLI (2022)

Aeropónia

Az aeropónikus rendszerekben a növények gyökerei a levegőben lógnak, miközben rendszeres időközönként tápanyagban gazdag víz vagy tápanyagban gazdag oldatok finom ködével permetezik őket (3. ábra). A növényeket általában szövetdarabok vagy habszivacs tartja a helyén, amelyek a szárakat és a gyökereket növekedés közben megtámasztják.



3. ábra: Aeropónikus rendszer felépítése

Forrás: TERBE-SLEZÁK (2008) alapján

Az aeroponikus termesztés (3. ábra) előnyös hatásait paradicsom (TAFESSE et al, 2021), uborka (JAMSHIDI et al, 2020), eper (MOHAMED et al, 2022), leveles zöldségek (LIM, 1996; CHANDRA et al, 2014), burgonya (TUNIO et al, 2020; FARRAN-MINGO-CASTELL, 2006) fűszernövények és gyógynövények (HAYDEN, 2006), dísnövények (de KREIJ-HOEVEN, 1997), áfonya (BARAK et al, 1996) és saláta (LAKHIAR et al, 2020; REPETTO et al, 1993; TUNIO et al, 2021) esetén sikeresen alkalmazzák.

A franciák már a 17. században üveg alatt termesztették a salátát, ezt a termesztési módszert a németek és az angolok is átvették, és a 19. században mindkét országban széles körben elterjedt. Ennek eredményeként a salátatermesztés olyan országokban is elterjedt, ahol az éghajlat egyébként nem lett volna megfelelő. Egyes országokban a salátafogyasztás meghaladja az elfogyasztott zöldségek 10%-át, amit a változatos nemesítés és az új, egyre színesebb és érdekesebb fajták megjelenése is elősegített. A saláta rövid tenyészideje és viszonylag könnyű termesztése miatt gyakorlatilag bármilyen talaj nélküli technológiával termesztethető.

NFT (Nutrien Film Tecnology). A saláta talaj nélküli termesztésének egyik legelterjedtebb módszere az úgynevezett NFT-módszer, ami azt jelenti, hogy nincs gyökértartó közeg, a növények gyökerei néhány milliméter vastag tápoldatban vannak elmerülve. Ezek a csatornák egyirányú lejtésűek, és a tápoldat a gravitáció hatására mozog bennük. A saláta esetében többszintes (akár 6 szintes) termesztés is lehetséges, de a fő kihívást a fény biztosítása jelenti. Ezért a technológia beruházási költségei magasak, de a csatornák több mint 10 évig használhatók.

Úszó hidropóniás rendszer (Floating Hydroponics). Ennek a termesztési módnak a lényege, hogy nagyobb, 25-30 cm mély és akár 40-50 m hosszú ágyásokat hozunk létre. Az ágyásokat tápoldattal töltik fel, a salátát pedig polisztirol (hungarocell) lapokba ültetik, így a növények szorosan egymás mellett lebegnek a tápoldat tetején. A lapok a növényekkel együtt lebegnek a felszínen, miközben a gyökerek a tápoldatból veszik fel a szükséges tápanyagokat (víz + tápanyag). Napjainkban a technológia teljesen gépesített, ami csökkentette a salátával kapcsolatos munkaerőköltségeket. Számos előnye miatt az NFT-rendszer mellett ez a második legjellemzőbb termesztési technológia a saláta talaj nélküli termesztésére (CSONTOS, 2016).

Aggregált hidroponikus rendszerek. Míg a támasztóközeges rendszerek nagy jelentőséggel bírnak a fő hajtású növényeink (paprika, paradicsom, uborka) esetében, addig a saláta esetében kevésbé fontosak. A saláta gyakorlatilag bármilyen táptalajon termeszthető: kőzetgyapot, tőzeg, homok, fűrészpor, perlit vagy ezek keverékei. A salátatermesztés gazdasági életképessége ezeken a táptalajokon azonban erősen megkérdőjelezhető, és a technológia nem terjedt el széles körben a termesztési gyakorlatban.

Aeropónikus rendszerek (tápanyagködös kultúra). Az aeropónikus vagy tápködkultúrák rendszereket nem használják széles körben a termesztési gyakorlatban. Ennek oka a technológia nagy kiépítési költsége, valamint bonyolultsága. E rendszer előnye a pontos tápanyagellátás és a jó helykihasználás (TERBE-SLEZÁK, 2008).

3. Anyag és módszer

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

3.1. A kísérletekben alkalmazott teszt növények

Rukkola (*Eruca sativa*)

A keresztesvirágúak családjába tartozó 10-100 cm magas, egynyári gyógynövény, borsmustárként is ismeretes (GARG-SHARMA, 2014). A rukkolát kereskedelmi céllal olajos magjai miatt, valamint fő növényként termesztik olyan területeken, ahol kevés a rendelkezésre álló víz és sós talajú a területeken. Étkezési olajnövényként nincs rá nagy kereslet, ezért nyilvánvalóan szükség van az olajminőség javítására, hogy a konyhában is helyet kapjon. Kedveli a napos, félárnyékos helyeket. Vetése jellemzően március végétől szeptemberig történik, betakarítása májustól novemberig, üvegházban egész évben történik, de cserépben is nevelhető. Levelei, a magvai és a virágai is ehetőek, és kellemesen borsos ízt kínálnak. Egynyári növényként termesztendő. Ha nagyon magas a hőmérséklet, akkor felmagzik, ezért az olyan helyeken, ahol a nyarak forróak, ott inkább téli növényként szokás foglalkozni vele. Gyors növekedés jellemző rá, pH 6-6,8 közötti termesztőközeget kedvel. A fiatal növényeket salátaként, zöldségként vagy zöldtakarmányként használják. Az *E. sativa* izotiocianátokat, bután-, hexán-, oktán- és nonán-származékokat tartalmaz, amelyek a növény jellegzetes aromáját alkotják. A glükoszínolátok a keresztesvirágúakban találhatóak, rákellenes, gombaellenes, antibakteriális hatásúnak bizonyultak, és antioxidáns hatásuk van (KIM et al, 2004). A rukkola kiváló forrása a A-, C- és K-vitaminnak, tiaminnak, riboflavinnak, niacinnak, B6-vitaminnak, és pantoténsavnak is. (INNOOCENTI et al, 2008)

Tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*)

A tépősaláta 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, csipkés is lehetnek, sőt akár mélyen tagoltak is. Színük a halványzöldtől a sárgán és a pirosra át a sötétbarnáig sokféle árnyalatú. A levelek zömök, de finom megjelenésűek, ízletesek, nem keserűek, és kifejezett

állapotban 0,4-0,6 kg súlyúak. 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 szárat növeszt, de a levelek minősége még ekkor is változatlan (SUPERSEEDS, 2023). A kevés a fény (elsősorban a téli hónapokban) hatására lassabban nő, de később a melegben és a fényben növekedése, fejlődése nagyon gyorsan felgyorsul. Félárnyékba is ültethető, ahol a levelei nem lesznek keserű ízűek. Közepes vízellátást igényel, és erősebb gyökerei miatt nem olyan érzékeny az időszakos vízhiányra, mint a fejes saláta vagy a kötözösaláta. A mélyen elvetett fajták erős, mélyre hatoló gyökérzetük miatt jobban tűrik a vízhiányt, mint a palánták. Folyamatos betakarítással 5-8 kg/m² friss saláta termésére képes. Nyáron (különösen öntözés esetén) kiváló salátahelyettesítő. Belső értéke magasabb, mint a fejes salátáé. Különösen gazdag B₁-, B₂- és C-vitaminban, karotinban és ásványi sókban

3.2. Csíráztatás és palántanevelés körülményei

A salátamagok csíráztatása kőzetgyapot termesztőkockán (3,6x3,6x4 cm méretűn), zárt Mammoth Lite 80+ típusú beltéri palántanevelő sátorban történt. A palántákat a 2. táblázatban feltüntetett tápoldatokkal neveltük a 7 napig. SANLIGHT q5w GEN2 típusú palántanevelő lámpával világítottuk meg 400-780 nm hullámhossz tartományú fénnel. A kőzetgyapot kockát tápoldattal telítettük, majd minden kőzetgyapotkockába négy darab magot helyeztünk el, végül perlit takaróanyaggal szórtuk meg a termesztőkockák tetejét.

2. táblázat: A kísérletben alkalmazott tápoldatok

	Csíráztatás	Első gyökerek	Első igazi levelek	Növekedés
TriPart A	0,25 ml/L	0,5m/L	1ml/L	1,8ml/L
TriPart B	0,25 ml/L	0,5m/L	1ml/L	1,2ml/L
TriPart C	0,25 ml/L	0,5m/L	1ml/L	0,6ml/L
EC (mS)	0,15-0,2	0,3-0,6	0,8-1,2	1,3-1,8

Forrás: TERRAAQUATICA (2023) alapján saját szerkesztés, 2023.

A 2. táblázatban a kísérletben alkalmazott tápoldat keverékek javasolt adagolási aránya látható. A TriPart tápoldatok nagyon jól alkalmazkodnak a fejlődő növény változó igényeihez. A tápoldatok nem csak az alapvető növénytapláláshoz szükséges elsődleges és másodlagos tápanyagokat tartalmazzák, hanem a mikro- és szubmikroelemek teljes skáláját is.

A csíráztatás, az első gyökerek és az első igazi levelek stádiumokban nincs nagy variancia a tápoldatkeverékek adagolásában. Az adott stádiumban mindegyikből ugyanannyit kell

kijuttatni a növény számára. Csíráztatásnál 0,25ml/L, az első gyökereknél 0,5ml/L, az első igazi leveleknél, pedig 1ml/L a javasolt arány mindegyik tápoldatból a növények számára. A növekedés stádiumban már eltérő arányokról beszélünk. A TriPart A tápoldatból 1,8ml/L, a TriPart B tápoldatból 1,2ml/L, a TriPart C tápoldatból pedig 0,6ml/L a javasolt adagolási arány.



4. ábra: Balról jobbra haladva: Magok csírázása közetgyapot kockákon, A vetést követő ötödik nap (BBCH skála 1.2 szakasz), A vetést követő tizenkettedik nap (BBCH skála 1.3 szakasz), Kilencedik hét (BBCH skála 4.9. szakasz) Forrás: Saját, 2023.

A 12. napon (4. ábra) (BBCH skála (FELLER et al., 1995) szerinti 1.3. stádiumban – Levélfejlődés, harmadik igazi levél) a teszt növények átlagos levélszáma $3,8 \pm 0,4$ db, átlagos magassága $3,37 \pm 0,35$ cm volt. A palántanevelés 12. napján átvittük őket a víz- és energiahatékony, teljesen fény-, hő- és páratartalom-szabályozott aeropónikus termesztési rendszerbe.

3.3. Aeropónikus rendszer jellemzői és a kísérlet beállítása

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 lámpatestek segítségével.

3. táblázat: Kísérletben alkalmazott fényprogram összetétele

Fényreceptúra lépése	Kék (400-500 nm)	Zöld (500-600 nm)	Vörös (600-700 nm)	Távoli vörös (700-800 nm)	Fényintenzitás összesen
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 $\mu\text{mol/s}$
15 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 $\mu\text{mol/s}$

Forrás: Saját, 2023.

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 tápoldatmennyiséggel- A tápoldatot egységenként egy Sicce Syncra Silence 1.5 típusú szivattyú folyamatosan keringtette, és a tápoldatot a növényekhez fűvókákön keresztül juttatta el. A négy kísérleti elrendezésben azonos tápoldatozást kaptak a tesztnövények, a kezeléseket a tápoldatozási intenzitások jelentették (4. táblázat).

4. táblázat: **Tápoldatozási kezelések**

Kezelés elnevezése	Szivattyú működés időpontja	Napi szivattyúkapcsolások száma
1. kezelés	2,5 óránként kapcsol (off)/ 15 percig üzemel (on)	9 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

Forrás: Saját, 2023.

Az 5. ábrán látható a kezelések elhelyezkedése az aeropónikus rendszer klímaszobáján belül.

SZIVATTYÚ			SZIVATTYÚ			SZIVATTYÚ		
Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola	
Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola	
Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola	
Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola	
Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola		Ausztráliai sárga	Rukkola	
1.KEZELÉS			2.KEZELÉS			3.KEZELÉS		
								AUTÓ

5. ábra: **A kezelések elhelyezkedése**

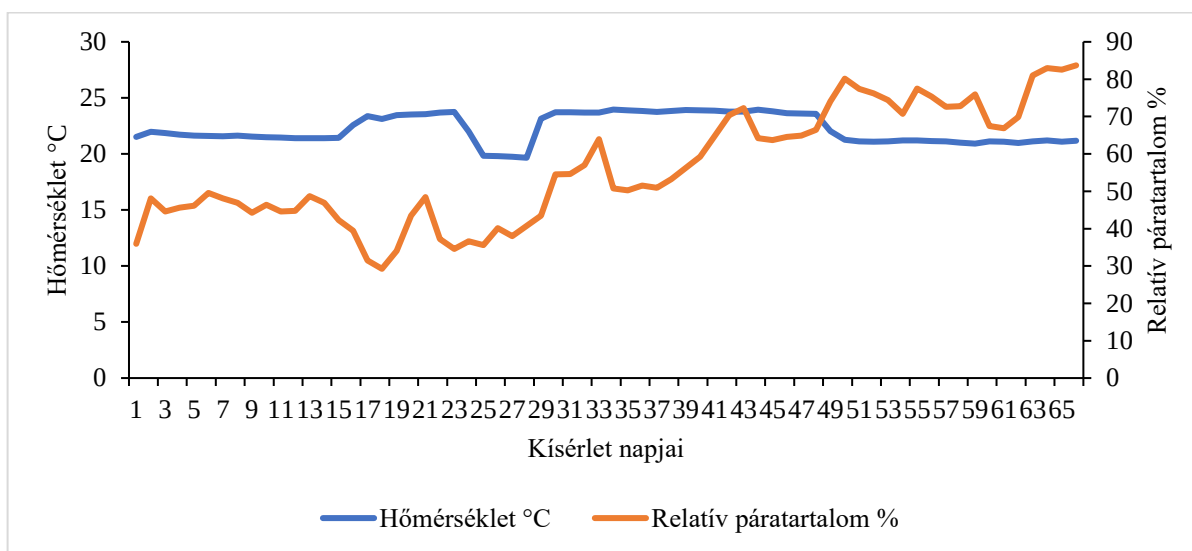
Forrás: Saját, 2023.

A kísérlet során négy különálló kezelésben termesztettük a növényeket (5. ábra). Egy kezelésben kétfajta (ausztráliai sárga, rukkola) saláta volt, melyek egymástól 10,5 cm távolságra helyezkedtek el. Egy kezelésen belül 10 db növény volt található, 5 db ausztráliai sárga és 5 db rukkola. A szivattyú mindegyik kezelés végén helyezkedett el.

A kísérlet során nem alkalmaztunk semmilyen növényvédelmi technológiát, kizárólag rovarfogó lapokat. A fogólapokat a növényállomány fölé 10 cm-rel kell függeszteni. A sárga rovarfogó lap optikai rovaresapda. A sárga ragacsos csapdák nagy vonzerővel hatnak a levéltetvekre, fehér legyekre, sciaridákra és tripszekre.

3.3.1. Klímakörülmények az aeropónikus rendszerben

Az aeropónikus rendszerben a levegő hőmérsékletének és relatív páratartalmának adatait 1 óránként gyűjtöttük NOVUS RHT adatgyűjtő transzmitterekkel a klímaszoba két magasságában (52 cm és 142 cm magasságában), Fieldlogger 1.6.9.03 szoftverrel nyertük ki az adatokat és a napi értékeket átlagoltuk (6. ábra).



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

Forrás: Saját, 2023.

A hőmérséklet alakulásáról elmondható, hogy 19,74-23,74°C között alakult, a relatív páratartalom pedig 29,24-83,71% 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.

3.4. Elvégzett vizsgálatok, alkalmazott eszközök

3.4.1. Beltartalmi vizsgálatok

Növényi stressz mérése (Fv/Fm, Fv/Fo értékének meghatározása)

A növényi stressz mérésére OS30p+ klorofill fluorimétert használtam. Ezzel a hordozható műszerrel - a mérőfejet kalibrálás után a növények leveleire csíptetve (sötét adaptálás) - megtudtuk 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 PS II potenciális fotokémiai hatékonyságának kiszámításához a következő összefüggést használtuk:

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

ahol:

Fv = változó fluoreszcencia szintje

Fm= maximális fluoreszcencia (telítési fényimpulzus hatására mért fluoreszcencia)

Fo = alap fluoreszcencia szintje

Az Fv/Fm egy normalizált arány, melyet KITAJIMA-BUTLER (1975) fejlesztett ki, s a növényi stressz mérésének egyik leggyakrabban használt módszere. MAXWELL-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 Fv/Fo (azaz a PSII rendszer maximális kvantumhozama) az Fv/Fm hányadosnál sokkal érzékenyebb, ahogyan azt LICHTENTHALER-BUSCHMANN (1984), valamint BABANI-LICHTENTHALER (1996) is bebizonyította. Ez az arány magába foglalja ugyanazt az alapinformációt, mint az Fv/Fm, de magasabb értékeket mutat, és magasabb a dinamikai tartományt, mint az Fv/Fm. Az Fv/Fo 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 meghatározás módszertana

A friss növényi levélmintákat 80%-os aceton és kvarchomok alkalmazásával dörzsmozsárban homogénné roncsoltam, majd 10 ml-es centrifugacsövekben HETTICH ROTOFIC 32A centrifugában 3 percig 3000 rpm-en ülepítettem. Centrifugálást követően a centrifugacsövek felső részében lévő tiszta oldatból 2,5 ml-t egy kvarccsőbe pipettáztam, és a növényi kivonatok

abszorbanciáját SECOMAN Anthelie Light II UV-VIS spektrofotométerrel 470, 644 és 663 nm-en mértem le. 80%-os acetonos oldatban a klorofill a fényelnyelési maximuma 663 nm-en, a klorofill b 645 nm-en, még a karotinoidoké is a 440-470 nm-es hullámhossztartományban van (ALLAGA és PALÁNKI, 1997). A mérések előtt minden esetben 80%-os aceton felhasználásával kalibrálást végeztem. A kapott abszorbancia értékekből DROPPA et al, (2003) képlete alapján kiszámítottam az összes klorofilltartalmat (µg/g):

$$\text{Klorofill}_{A, B} = (20,2 * A_{644} + 8,02 * A_{663}) * V/w$$

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

Klorofill_{A, B}= klorofill A és B µg/g-ban egy gramm friss tömegre vonatkoztatva

A₆₄₄, A₆₆₃= 644 nm-en és a 663 nm-en mért abszorbancia értéke

V= folyékony szövetkivonat térfogata (ml)

w= friss növényi szövetminta tömege (g).

Az összes karotinoid-tartalom (µg/g) számításához LICHTENTHALER et al, (1983) által meghatározott összefüggést alkalmaztam:

$$\begin{aligned} \text{Összes karotinoid-tartalom (µg/g)} = & (1000 * A_{470} - 3,27 * (12,21 * A_{663} - 2,81 * A_{644}) - \\ & 104 * (20,13 * A_{644} - 5,03 * A_{663})) * V/w \end{aligned}$$

ahol a fenti egyenletben szereplő tényezők a következők:

Összes karotinoid-tartalom (µg/g) = karotinoid-tartalom 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 mérés módszertana

A vizsgált növények vízpotenciáljának mérése a kísérlet 9. hetében (felszámoláskor) történt, mindkét salátafajta esetén háromszoros ismételtsben. 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.

Nitrát-tartalom meghatározás

Minden egyes növényről egy-egy reprezentatív levelet levágtunk, zárható zacskóba tettük, felcímkéztük majd fagyasztó szekrénybe helyeztük. A termesztett növényeink nitrát-tartalmát a kísérlet felszámolásakor az Agrárműszerközpontban spektrofotometriás módszerrel végezték.

3.4.2. Fizikai vizsgálatok

Növénymagasság

A növény magasságának megmérésére minden héten sor került. A mérést vonalzó segítségével végeztem Slezák (2001) alapján. A vonalzót a termesztőközegre állítottam és onnan mértem a növényt. Amennyiben a növény lekonyult próbáltam a méréshez felegyenesíteni anélkül, hogy a növény sérüljön vagy megtörjön. Az adatokat rögzítettem és később táblázatban dokumentáltam.

Levélszám

A növények levélszámát heti rendszerességgel rögzítettem. Minden mérésnél az egyed összes levelét megszámláltam és táblázatban rögzítettem. A számlálás során csak az élő leveleket jegyeztem fel, az elhalt, már nem élő levelek nem jöttek számításba.

Gyökérhossz

A növény gyökérhosszát a kísérlet 9. hetében mértem le. Mikor felszámoltam a kísérletet ekkor kerültek ki a növények a tartóközegből és nyílt lehetőségem a gyökerek hosszának megmérésére. A növényt fekvő helyzetben letettem az asztalra, a gyökerét kiegyenesítettem és mérőszalag segítségével megmértem. A mért adatokat feljegyeztem majd a felszámolást követően táblázatban rögzítettem.

3.5. Eredmények statisztikai értékelése

A mért adatokat Microsoft Office Excel szoftverbe vittem be és itt alakítottam ki az adatbázisokat a statisztikai vizsgálatokhoz is. A statisztikai elemzéseket R szoftver alkalmazásával R Studio felhasználói környezetben végeztem el (R CORE TEAM, 2017). A kezelések közötti statisztikai különbségek igazolására egytényezős varianciaanalízist végeztem, a szignifikancia szintet 5%-ban határoztam meg. A varianciaanalízis elvégzése előtt Shapiro-Wilk normalitás tesztet alkalmaztam annak meghatározására, hogy a vizsgált változó normál eloszlású-e vagy sem (MENDIBURU, 2020). Ez alapján választottam ki a varianciaanalízis típusát: normál eloszlás esetén LSD-vel bővített Duncan-tesztet, még nem normál eloszlás esetén LSD-vel bővített Kruskal-Wallis tesztet végeztem.

4. Eredmények és értékelésük

4.1. Fizikai vizsgálatok eredményei

4.1.1. Növénymagasság

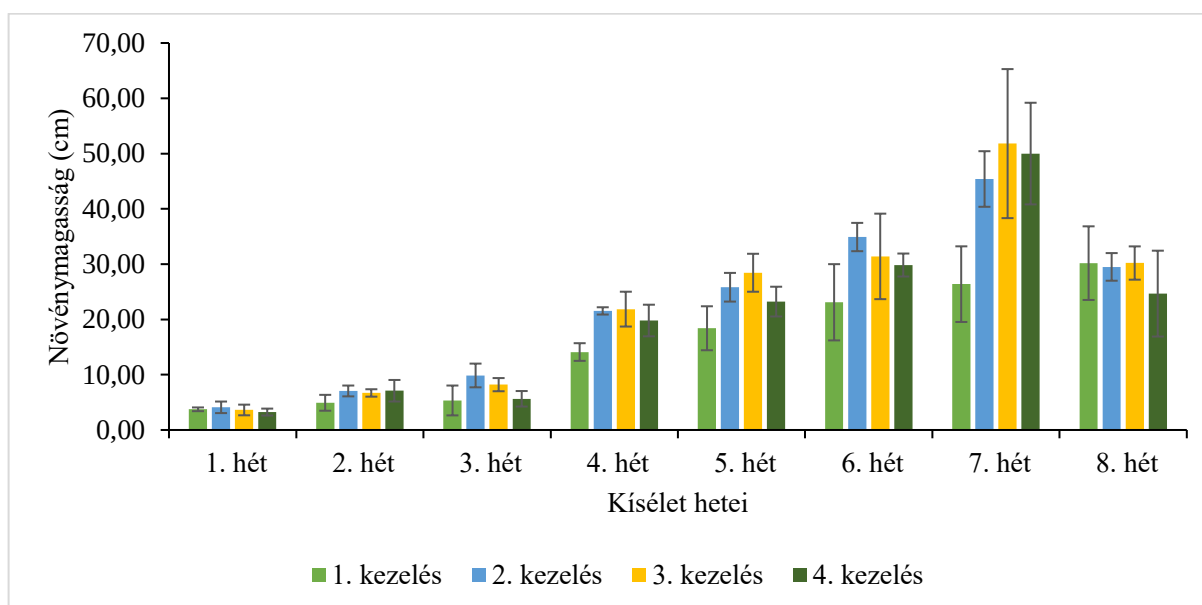
A választott teszt növények esetén a termesztőegységekben lévő hidro cserepek felső részétől számítva a leghosszabb hajtás/levél végéig mértem meg a növények magasságát (7. ábra).



7. ábra: Ausztráliai sárga magasságának a mérése

Forrás: Saját, 2023

Az ausztráliai sárga esetén kapott eredményeket a 8. ábrán mutatom be.



8. ábra: Növénymagasság alakulása az ausztráliai sárga teszt növény esetén

Forrás: Saját, 2023

A 8. ábrán megfigyelhető, hogy az ausztráliai sárga növénymagassága a 7. hétig növekvő tendenciát mutat, azonban a hetedik hetet követően visszaesés állapítható meg. Ennek az eredménynek az oka, hogy a saláták felmagzottak a hetedik hétre. Ezt a felmagzást, viszont levágtuk, így a nyolcadik hétre visszaesett a növénymagasság. A felmagzást kiváltó ok, hogy a növények közepén, közvetlenül a lámpatestek alatt helyezkedtek el. Mivel ilyen magasra felmagzottak, egyre közelebb kerültek a lámpához, amely stresszt eredményezett a salátáknál. A szórás értéke, azért olyan nagy a hetedik héten, mert egymás mellett helyezkedett el egy felmagzott és egy nem felmagzott növény.

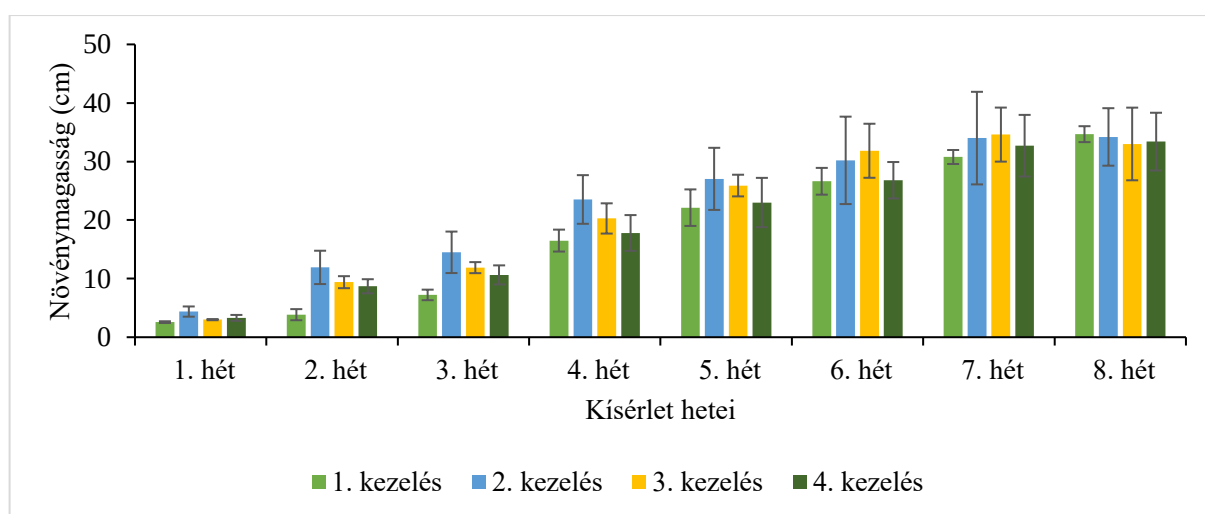
4. táblázat: Ausztráliai sárga átlag magassága kezelésenként

Kezelések	Átlagos növénymagasság (cm)
1. kezelés	30,18±6,66a
2. kezelés	29,5±2,50a
3. kezelés	30,2±3,01a
4. kezelés	24,66±7,77a

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

Forrás: Saját, 2023

A 4. táblázatban a kezelések során kapott átlagos magasságokat tüntettem fel. A legnagyobb növénymagasságokat az 1. (30,18±6,66) és a 3. kezelés (30,2±3,01) esetén mértem, azonban egyértelműen nem tudtam meghatározni a kezelések közötti különbségeket ezen paraméter esetén, melyet az is bizonyít, hogy szignifikáns különbségeket nem voltak a kezelések között ($p < 0,05$).



9. ábra: Növénymagasság alakulása a rukkola teszt növény esetén

Forrás: Saját, 2023

A rukkola esetében (9. ábra) nem volt visszaesés a növénymagasság tekintetében. A rukkola a termesztése során nem magzott fel (inkább szélesebb bokrokat képzett) így nem vágtuk vissza, ezért a diagram a kezelési hetek végéig növekedést mutat.

5. táblázat: **Rukkola átlag magassága kezelésként**

Kezelések	Átlagos növénymagasság (cm)
1. kezelés	34,68±1,36a
2. kezelés	34,20±4,91a
3. kezelés	33,00±6,20a
4. kezelés	33,40±4,93a

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

Forrás: Saját, 2023

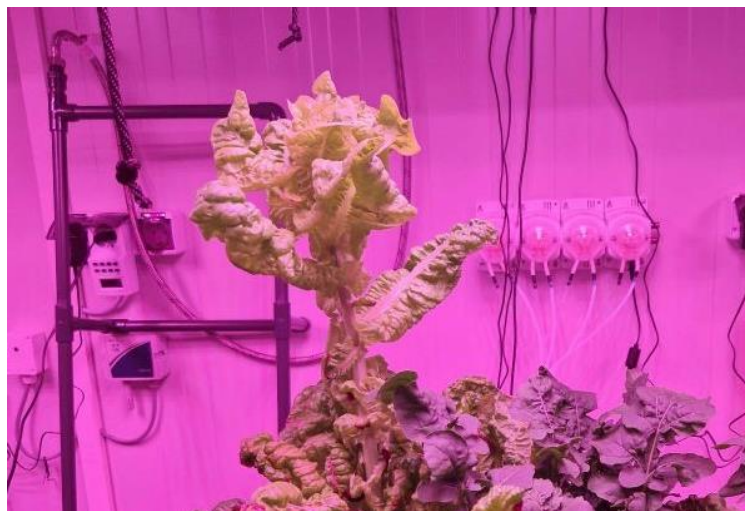
A 9. ábra mellett az ötödik táblázatban is megfigyelhető, hogy az ausztráliai sárgához hasonlóan a rukkola esetében sem emelkedett ki egyik kezelés sem, így ezen paraméter esetén a kezelések közötti különbségek nem bizonyíthatók, melyet a mért értékek és a statisztikai elemzés is alátámasztanak.

Kísérleti elrendezés miatt az ausztráliai sárga és a rukkola voltak azok a teszt növények, melyek felmagzottak (11. ábra), illetve elérték a virágzás fenofázist (10. ábra).



10. ábra: **Virágzó rukkola**

Forrás: Saját, 2023



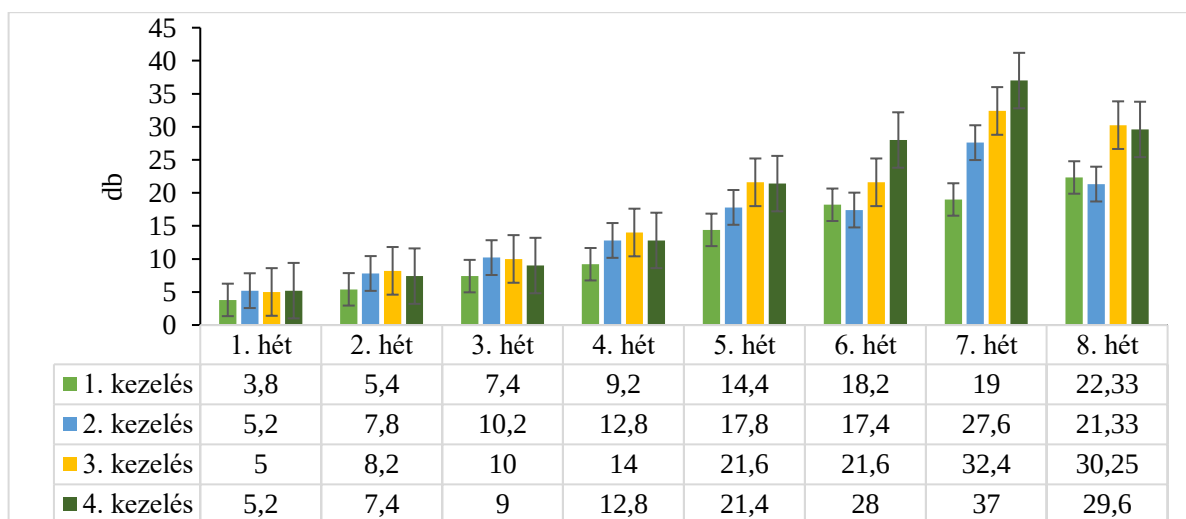
11. ábra: **Felmagzott ausztráliai sárga**

Forrás: Saját, 2023

Ez a két fajta volt megtalálható a termesztési egységek közepén, s így a lámpatestek alatt épp olyan pozícióban helyezkedtek el, hogy a fény nagy része rájuk koncentrálódott.

4.1.2. Levélszám

Mivel minden héten megszámláltam minden egyes termesztett egyed levélszámát, így átfogó képet kaptunk a növények leveleinek gyarapodásáról. A diagramok (12. ábra, 13. ábra) a levelek számának átlagát mutatják kezelésekre leosztva.



12. ábra: **Ausztráliai sárga levélszámának alakulása**

Forrás: Saját, 2023.

A 12. ábrán látható az ausztráliai sárga levélszámának gyarapodása a kezelési hetek során. A levélszám a teljes kísérlet ideje alatt $3,8 \pm 0,44$ db és $30,25 \pm 6,49$ db között alakult. A kezeléseket megfigyelve jól látható, hogy a nyolcadik hétig a levelek száma növekvő tendenciát mutat, azonban a kilencedik hétre az egyes kezelés kivételével az összes többinél visszaesés állapítható meg. Alsó levelek elszáradtak, a nagyra nőtt „bokrok” miatt nem fértek el egymás mellett a növények, ebből ered az egyes hetek közötti csökkenő levélszám.

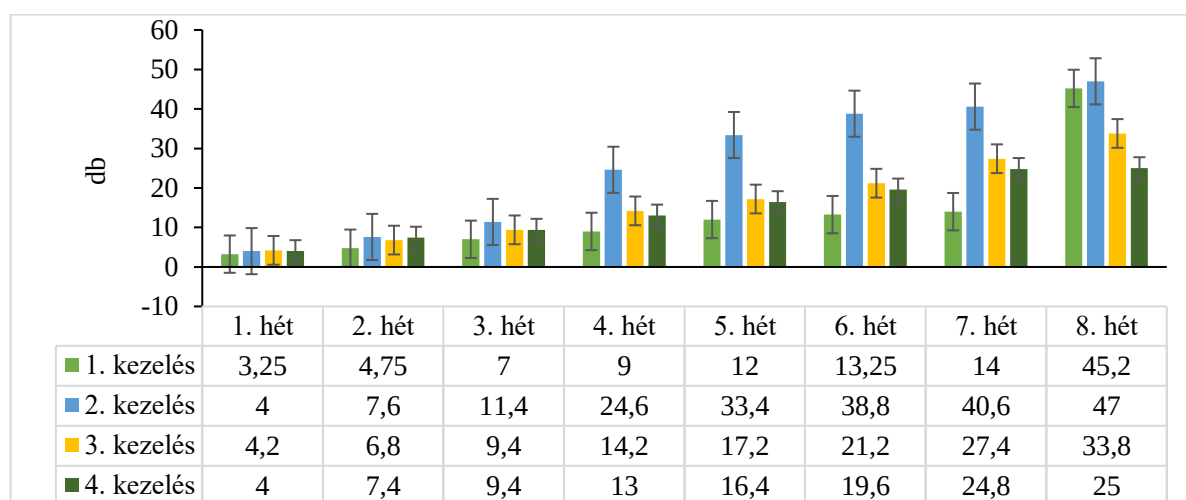
5. táblázat: Átlagos levélszám alakulása ausztráliai sárga esetén

Kezelések	Átlagos levélszám (db)
1. kezelés	$15,08 \pm 5,85a$
2. kezelés	$17,85 \pm 6,18a$
3. kezelés	$21,64 \pm 8,76b$
4. kezelés	$22,96 \pm 10,65b$

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

Forrás: Saját, 2023.

Az 5. táblázatban az átlagos levélszám látható kezelésekre lebontva. Az első kezelésben volt a legalacsonyabb levélszám ($15,08 \pm 5,85$), még a negyedik kezelésben a legmagasabb ($22,96 \pm 10,65$). A kezelések átlagos levélszámában szignifikáns különbségeket tudtam kimutatni ($p < 0,05$). Ezek alapján elmondható, hogy napi 9 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 az ausztráliai sárga esetén levélszám tekintetében elegendő.



13. ábra: Rukkola levélszám

Forrás: Saját, 2023.

A diagramon (13. ábra) megfigyelhető a rukkola levélszámának gyarapodása a kezelési hetek során. Szembetűnően kiugró értéket mutat a 2. kezelés. Ebben a kezelésben a levelek növekedése, fejlődése jóval nagyobb tendenciát mutat, mint a többi kezelés esetében.

6. táblázat: Átlagos levélszám alakulása rukkola esetén

Kezelések	Átlagos levélszám (db)
1. kezelés	16,74±6,49a
2. kezelés	32,63±12,83c
3. kezelés	20,53±8,93b
4. kezelés	18,03±6,31a

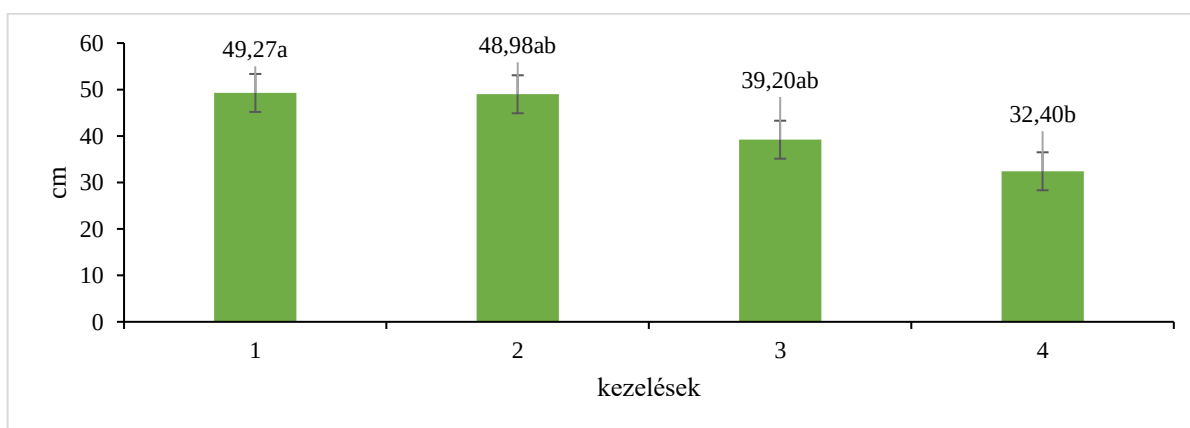
Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Forrás: Saját, 2023.

A 6. táblázat alapján levonható az a következtetés, hogy a kezelések átlagos levélszáma szignifikánsan különbözött egymástól ($p < 0,05$), s a legmagasabb levélszámot a 2. kezelés esetén kaptam. Ezek alapján elmondható, hogy a napi 8*8 perc tápoldatozás a rukkola aeropónikus termesztése esetén elegendő.

4.1.3. Gyökérhossz

A kísérlet befejeztével a növényeket egyesével kiszedtük az aeropóniás rendszerből és ekkor mértük meg a gyökérük hosszát. Míg bent voltak a rendszerben nem volt rá lehetőségünk, ugyanis nem fértünk hozzá a gyökerekhez. Fajtánként és ismétlésenként az összes saláta gyökerét lemértük és ezek átlaga látható az egyes kezeléseknél a diagramon.

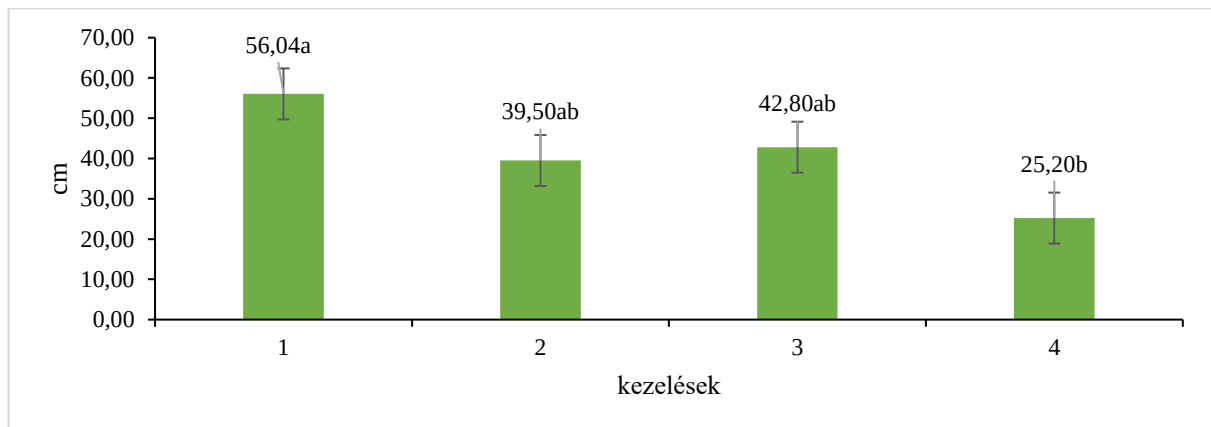


14. ábra: Ausztráliai sárga gyökérhossz

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

Forrás: Saját, 2023.

A 14. ábrán az ausztráliai sárga gyökérhossza látható kezelésenként lebontva. Jól látható, hogy az első kezelésben nevelkedett saláták gyökere volt a leghosszabb ($49,98 \pm 15,51$ cm) és ahogy haladunk tovább ez a szám egyre csak csökken. A négyes kezelésben lévő egyedek gyökere volt a legrövidebb ($32,40$ cm $\pm 12,88$). A kezelésenkénti átlagos gyökérhosszak között szignifikáns különbségeket tudtam kimutatni ($p < 0,05$).



15. ábra: **Rukkola gyökérhossz**

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

Forrás: Saját, 2023.

A 15. ábrán a rukkola gyökérhossza látható kezelésenként lebontva. Ezen az ábrán már nem figyelhetünk meg olyan egyértelmű csökkenést, mint az ausztráliai sárga esetében. A legnagyobb gyökérhossz ugyanúgy az első kezelésnél volt megfigyelhető ($56,04 \pm 13,25$ cm), valamint itt is szintén a négyes kezelésnél voltak a legrövidebb gyökerek ($25,20 \pm 2,95$ cm). A statisztikai elemzés alapján ez a két kezelés különbözik szignifikánsan egymástól ($p < 0,05$). Azonban a két köztes érték (második és harmadik kezelés) nem csökkenő tendenciát mutat.



16. ábra: A rendszerből kivett rukkolák

Forrás: Saját, 2023.

A 16. ábrán jól látható az aeropóniás rendszerben termesztett rukkola gyökerének a hossza. Valamint a gyökerek elképesztő sűrűsége. A képen is jól látható, hogy gyökerek rendkívül eltérőek lehetnek egy kezelésen belül is.

4.2. Beltartalmi vizsgálatok

4.2.1. Fluoriméteres mérések

A klorofill fluoreszcencia és az abból származtatott indexek roncsolásmentes módszerekként javasolhatók a leveles zöldségek minőségének értékelésére az értékesítési lánc mentén és a tárolás során. 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.

A fluoriméteres méréseket heti rendszerességgel végeztem el. Azonban azokra a hetekre koncentráltam, amikor már mérhető volt levélfelület (1. hét), valamint amikor a pigment-tartalom vizsgálat is történt (5. és 9. hét).

6. táblázat: Fv/Fm hányados alakulása rukkola teszt növény esetén ($p < 0,05$)

Fv/Fm	1. hét	5. hét	9. hét
1. kezelés	0,720±0,039bc	0,739±0,007b	0,779±0,004a
2. kezelés	0,699±0,012cd	0,719±0,025bc	0,719±0,055bc
3. kezelés	0,680±0,017d	0,709±0,045bc	0,747±0,020ab
4. kezelés	0,694±0,009cd	0,715±0,013bc	0,747±0,015ab

Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség.

Forrás: Saját, 2023

Mindegyik kezelésnél nőtt az Fv/Fm érték, ami azzal magyarázható, hogy az aeropónikus rendszerbe telepítés során érte őket stressz. Azonban ahogyan teltek a hetek egyre inkább megfigyelhető, hogy a növények fotoszintetikus rendszerét nem érte vízzel (tápoldattal) összefüggő stressz egyik kezelésben sem, tehát a tápoldatozási intenzitások között jelentős különbségek nem tapasztalhatók ezen paraméter esetén. Alapvetően elegendő lett volna öt hét a kísérlet szempontjából (ugyanis az árutermelő talaj nélküli rendszerekben 4-5 hétig nevelik a salátát és be is takarítják), ezen okból tüntettük fel a táblázatban. Ennek a fő oka az, hogy ekkorra már egyik növény sem stresszelt, ez a 6. táblázatról is jól leolvasható. A legmagasabb érték ott volt, ahol a legtöbb tápoldatot kapták a növények. Az adatok alapján - a zöld színnel kiemelt - első kezelés bizonyult a legjobbnak.

7. táblázat: Fv/Fo hányados alakulása rukkola teszt növény esetén

Fv/Fo	1. hét	5. hét	9. hét
1. kezelés	2,625±0,499bcd	2,850±0,098bc	3,511±0,084a
2. kezelés	2,341±0,135d	2,578±0,332bcd	2,652±0,574bcd
3. kezelés	2,113±0,124e	2,502±0,500bcd	2,964±0,307b
4. kezelés	2,218±0,112d	2,519±0,161bcd	2,967±0,235b

Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség.

Forrás: Saját, 2023

A 7. táblázatban az Fv/Fo hányados alakulása figyelhető meg. Az első heti Fv/Fo értékek voltak minden kezelés esetén a legalacsonyabbak, s ahogy a növények növekedtek, úgy lett egyre magasabb az Fv/Fo értéke. A legmagasabb értékeket mindhárom vizsgált héten az 1. kezelés esetén kaptam. CEN et al. (2017) vizsgálataik alapján bebizonyították, hogy az Fv/Fo érték annál magasabb, minél kevesebb fotoszintetikus rendszert érintő stressz éri a növényt.

8. táblázat: Fv/Fm hányados alakulása ausztráliai sárga teszt növény esetén

Fv/Fm	1. hét	5. hét	9. hét
1. kezelés	0,710±0,009d	0,762±0,012ab	0,789±0,008a
2. kezelés	0,665±0,009e	0,749±0,027bc	0,757±0,020ab
3. kezelés	0,673±0,009e	0,730±0,035bc	0,738±0,054bc
4. kezelés	0,680±0,013e	0,720±0,027cd	0,753±0,028b

Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség.

Forrás: Saját, 2023

A 8. táblázatban a rukkolánál mért adatokhoz hasonlóan az első héten jelentős stressz figyelhető meg. 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 számára a fotoszintetizáláshoz. A betelepítést követően szükségük volt a salátáknak másfél-két hétre a regenerálódáshoz (a 2. kezelés esetén látszik ez a tendencia leginkább), így az ötödik héten már itt sem figyelhető meg stressz. Az ausztráliai sárga esetében is az első kezelés bizonyult a legjobbnak az eredmények alapján.

9. táblázat: Fv/Fo hányados alakulása ausztráliai sárga teszt növény esetén

Fv/Fo	1. hét	5. hét	9. hét
1. kezelés	2,452±0,102e	3,203±0,204ab	3,509±0,475a
2. kezelés	1,928±0,082f	3,014±0,404bc	3,137±0,337ab
3. kezelés	2,059±0,084f	2,756±0,457bcd	2,924±0,632bc
4. kezelés	2,126±0,127f	2,595±0,357cd	3,094±0,466ab

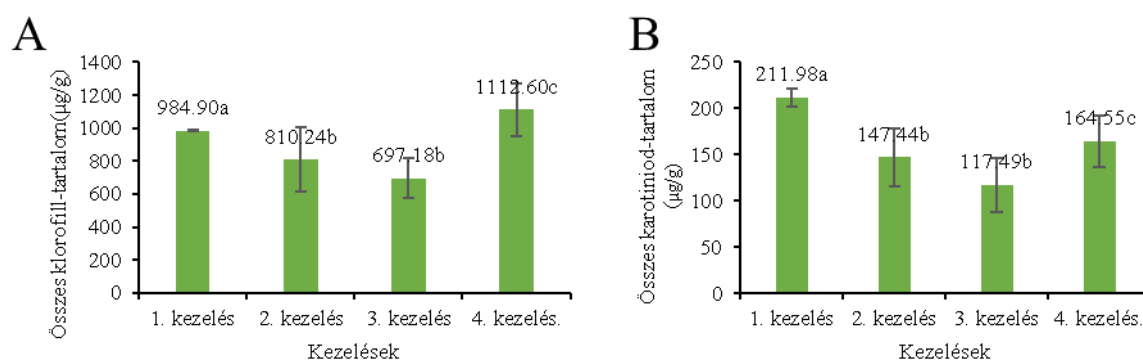
Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség.

Forrás: Saját, 2023

A 9. táblázatban az Fv/Fo hányados alakulása figyelhető meg. A rukkola eseté az ausztráliai sárgához hasonló tendencia figyelhető meg: az 1. kezelés esetén számítottuk a 9. héten a legnagyobb Fv/Fo értéket (3,509±0,475).

4.2.2. Pigmenttartalom vizsgálat eredményei

A roncsolásos pigmenttartalom (µg/g) vizsgálatokat az ötödik és a kilencedik héten végeztük el. Az összes klorofill és karotinoid-tartalomnak alapvetően fordított arányban kellene növekednie. Azonban a mi kísérletünk esetében ez nem mondható el. Viszont az jól megfigyelhető, hogy az összes klorofill és karotinoid-tartalom együtt mozog az összes növény esetében, az összes kezelési héten.

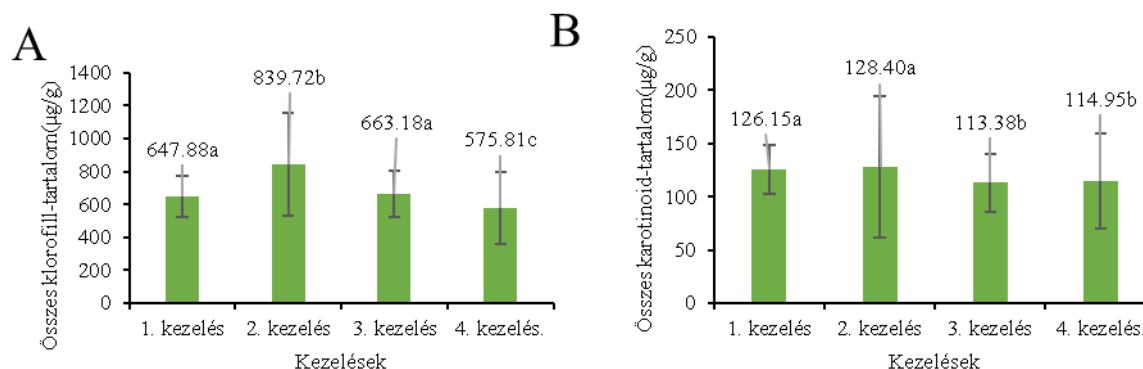


17. ábra: **Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet ötödik hetében az ausztráliai sárga teszt növény esetén**

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

Forrás: Saját, 2023.

A 17. ábrán megfigyelhető, hogy a kísérlet ötödik hetében az ausztráliai sárga legmagasabb összes klorofilltartalma a négyes kezelésnél (1112,60 µg/g), legalacsonyabb pedig a harmadik kezelés (697,18 µg/g) esetében volt. Az összes karotinoid-tartalom viszont az első kezelésben a legmagasabb (211,98 µg/g), a legalacsonyabb pedig szintén a harmadik kezelésben (117,49 µg/g) volt.



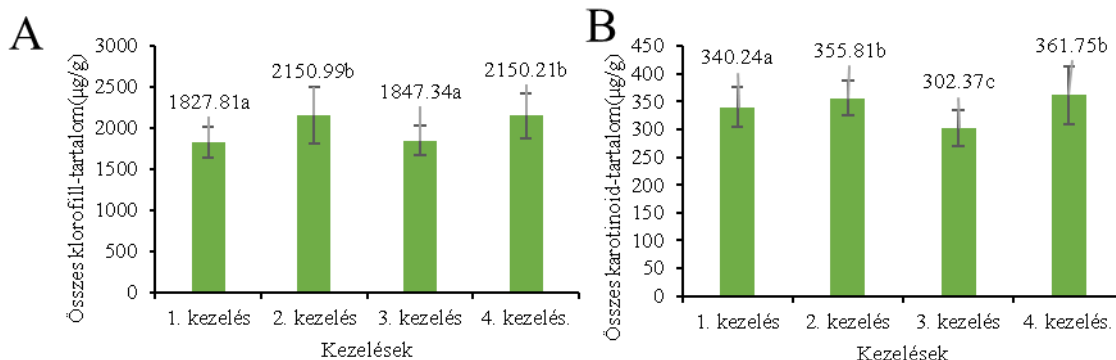
18. ábra: **Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet kilencedik hetében az ausztráliai sárga teszt növény esetén**

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

Forrás: Saját, 2023

A 18. ábrán látható, hogy a kísérlet kilencedik hetében az ausztráliai sárgánál megváltozott a tendencia: a legmagasabb összes klorofilltartalmat a 2. kezelés esetében mértem (839,72 µg/g), legalacsonyabbat pedig a 4. kezelésnél (575,81 µg/g). Az összes karotinoid-tartalom szintén a kettes kezelésnél volt a legmagasabb, legalacsonyabb pedig a 3. kezelésnél. Ami viszont

megfigyelhető, hogy azon kezelések esetén, ahol alacsonyabb volt a napi tápoldatozás (3., 4. kezelés), azon növények gyorsabban öregedtek, és ez a folyamat az összes karotinoid-tartalom növekedését vonta maga után.

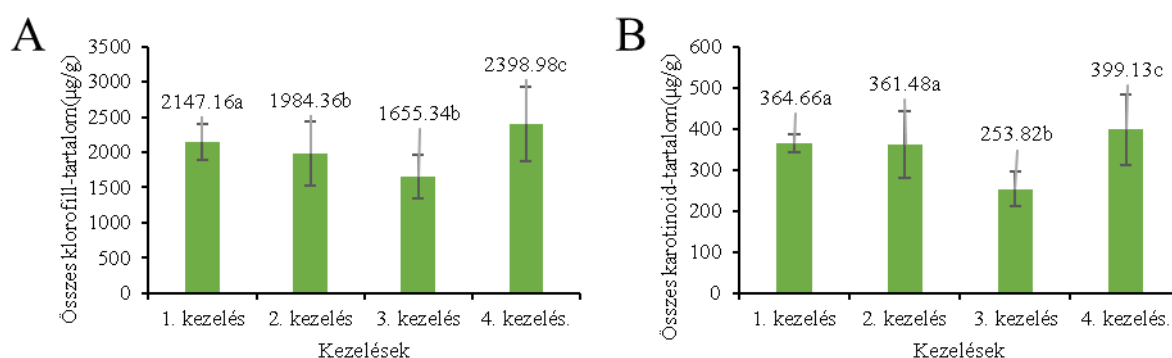


19. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet ötödik hetében a rukkola teszt növény esetén

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

Forrás: Saját, 2023

A 19. ábrán megfigyelhető, hogy a kísérlet ötödik hetében a rukkola legmagasabb összes klorofilltartalma a 2. kezelésben volt (2150,99 µg/g), a legalacsonyabb érték pedig az 1. kezelésnél (1827,81 µg/g). Az összes karotinoid-tartalom viszont a 3. kezelés (302,37 µg/g) esetében volt a legalacsonyabb, a legmagasabb pedig az 4. kezelésnél (361,75 µg/g) volt. Minimális különbség állapítható meg a 2. és a 4. kezelés eredményei között az összes klorofilltartalom és az összes karotinoid-tartalom között is.



20. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet kilencedik hetében a rukkola teszt növény esetén

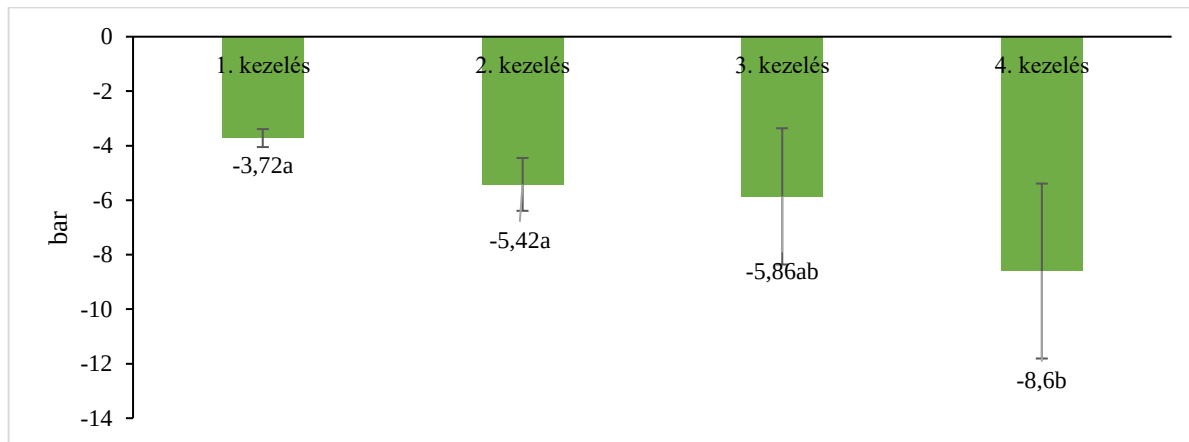
Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Forrás: Saját, 2023

A 20. ábrán jól látható, hogy a rukkola legmagasabb összes klorofilltartalma, a kilencedik héthez hasonlóan szintén a 4. kezelésben volt (2398,98 $\mu\text{g/g}$). A legalacsonyabb eredmény a 3. kezelésben található (1655,34 $\mu\text{g/g}$). Az összes karotinoid-tartalom szintén a 4. kezelés esetén volt a legmagasabb (399,13 $\mu\text{g/g}$). A legalacsonyabb az összes klorofilltartalomhoz hasonlóan a 3. kezelésben volt (253,82 $\mu\text{g/g}$). A rukkola esetén a magas összes karotinoid-tartalom egy jellemző paraméter, ugyanis friss tömegre vonatkoztatott értéke 16,2 és 275 $\mu\text{g/g}$ között alakult szakirodalmak szerint is, a fő karotinoid pedig a lutein (GARG-SHARMA, 2017; PULIDO et al, 2013).

4.2.3. Vízpotenciál

Ezt a paramétert azért tartottam fontosnak, hogy megmérjem, mert szerettem volna meghatározni azt, hogy a sejtek közötti víz mekkora nyomással sajtolható ki annak függvényében, hogy naponta hány alkalommal kapott tápoldatot a növény. Ugyanis minél kevesebbszer kapott a növény tápoldatot, annál nagyobb nyomásra volt szükség, ahhoz, hogy a sejtek közötti vizet ki tudjuk préselni, amely azt jelenti, hogy sokkal kevésbé volt jól ellátva vízzel/tápoldattal. Arra számítottam, hogy a magasabb vízellátottság, azaz a magasabb napi tápoldatozás magasabb vízpotenciált fog eredményezni.



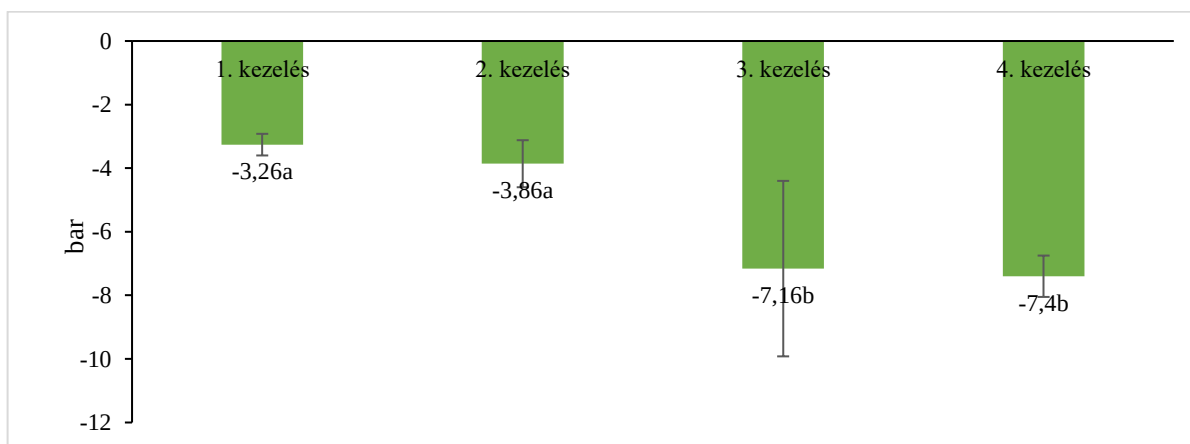
21. ábra: Ausztráliai sárga vízpotenciáljának alakulása

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

Forrás: Saját, 2023

Az ausztráliai sárgánál (21. ábra) jobban megfigyelhetők a kezelések közti szignifikáns különbségek, mint a rukkola esetében. 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 jelentősen kevesebb

tápoldatot tudott a sejtjei közé beépíteni. Az 1. kezelés eredménye (-3,72 bar) rendkívül jónak mondható, holott statisztikailag a 2. kezeléssel azonos csoportot alkot.



22. ábra: **Rukkola vízpotenciáljának alakulása**

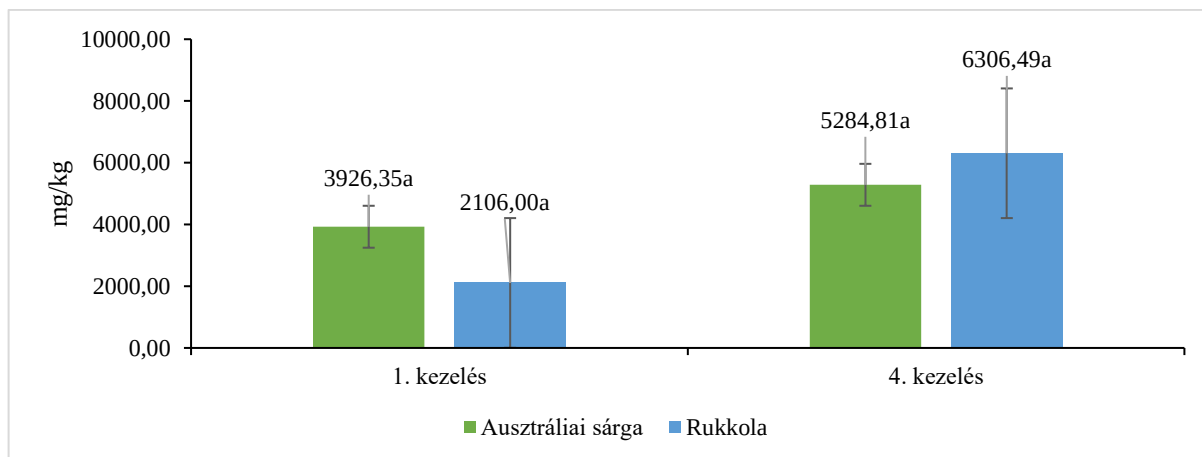
Az azonos betűvel jelölt kezelések között nincs szignifikáns különbség ($p < 0,05$).

Forrás: Saját, 2023.

A 22. ábrán a rukkola vízpotenciáljának alakulása figyelhető meg. Jól látható, hogy a 3. kezelésig növekszenek az értékek, azonban a 4. kezelésnél visszaesés állapítható meg. Az első két kezelés értékei rendkívül jónak mondhatók azonban a 3. és 4. kezelés adatai, mivel közel állnak a -10 barhoz nem mondhatóak túlságosan jónak – ahogyan erre számítottam is.

4.2.4. Nitrát-koncentráció alakulása a salátalevelekben

A fogyasztók minőséggel szembeni igényének növekedése miatt fokozatosan megnőtt az érdeklődés a zöldségek tápértékének javítása iránt. A zöldségek C-vitamin (aszcorbinsav) és nitrát-tartalma vonzza különösen a fogyasztók figyelmét. A zöldségeket azonban a fogyasztók nitrátbevitelének fő forrásának is tekintik. Számos tanulmány bebizonyította, hogy a szervezet nitrátbevitelének körülbelül 80%-a a zöldségfogyasztásból származik. A túlzott nitrátbevitel potenciális kockázatot jelent a methemoglobinémia, a gyomorrák és más betegségek kialakulására. Különösen az üvegházban termesztett zöldségeknél fordul elő gyakran a magasabb nitrát- és az alacsonyabb C-vitamin-tartalom. Emiatt tartottam fontosnak, hogy megvizsgáljam a legmagasabb és a legalacsonyabb napi tápoldatozású kezelések esetén azt, hogy hogyan alakul a levelekben mérhető nitrát-koncentráció.



23. ábra: Nitrát-koncentráció (mg/kg) alakulása

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

Forrás: Saját, 2023.

A 23. ábrán a nitrát koncentráció alakulása figyelhető meg az Ausztráliai sárga és a rukkola esetében. Az 1. és a 4. kezelés adatait megfigyelve rögtön szembetűnik a kettő közti különbség: a 4. kezelésben mért adat, csaknem az első kezelés duplája mindkét vizsgált növény esetén, tehát fordított arányosság figyelhető meg a napi tápoldatozási intenzitás és a nitrát-koncentráció között.

Az 1881/2006/EK rendelet, mely az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről szól meghatározza a nitrát-tartalom esetében is alkalmazandó határértékeket, mely bérbiételek esetében 200 mg/kg nitrát, még a leveles zöldségekre (saláta, spenót) megállapított határértékek 2000 és 4500 mg/kg között alakulnak. Ezek alapján a 4. kezelés esetén mért nitrát-koncentrációk jóval a határérték felett vannak, még az 1. kezelés esetén kapott értékek megfelelnek a meghatározott jogszabályi határértéknek.

Következtetések és javaslatok

Kutatásom során aeropónikus körülmények között neveltem két különböző fejet nem képző salátafajtát. A kutatásom kiindulópontja az volt, hogy a tápoldatozási intenzitás hatással lehet az ausztráliai sárga tépősaláta (*Lactuca sativa* var. *crispa*) és a rukkola (*Eruca sativa*) növekedésre, fejlődésére és a fotoszintézisre. A kísérlet során 9 hétig neveltem a salátákat ötszörös ismételtsében egy zárt klímaszobában lévő aeropónikus rendszerben, majd mértem a levélszámot, levélhosszt, stressz-paramétereket (Fv/Fm, Fv/Fo), összes klorofill- és karotinoid-tartalmat, nitrát-tartalmat, vízpotenciált. A célom az volt, hogy meghatározzam, hogy a gyakoribb vagy a ritkább tápoldatozási intenzitás hatékonyabb-e a két választott salátafajta termesztése és a vizsgált paraméterek szempontjából.

Eredményeink alapján megállapítható, hogy az ausztráliai sárga tépősaláta esetén a tápoldatozási intenzitás csökkenésével a levélszám, a növénymagasság és a gyökérhossz nőtt, tehát naponta kétszer 30 perc tápoldatozás elegendő, ha ezen paramétereket vesszük figyelembe. A rukkola esetén a tápoldatozási intenzitás csökkenésével a levélszám és az összes-klorofill koncentráció nőtt, a gyökérhossz azonban csökkent. Mind a vízpotenciál, mind pedig a nitrát-koncentráció esetén a tépősaláta és a rukkola esetén azonos tendencia volt megfigyelhető. Vízpotenciál esetén a legtöbb napi tápoldatozású (napi kilencszer 15 perc) kezelés esetén szignifikánsan magasabb értékeket kaptunk (tépősaláta: $-3,72 \pm 0,33$ bar; rukkola: $-3,26 \pm 0,34$ bar), mint azon kezelésnél, melyben a növények naponta kétszer kapnak tápoldatot ($p < 0,05$). Az 1881/2006/EK rendelet, mely az élelmiszerekben előforduló egyes szennyező anyagok felső határértékeiről szól meghatározza a nitrát-tartalom esetében is alkalmazandó határértékeket, mely bébiételek esetében 200 mg/kg nitrát, még a leveles zöldségekre (saláta, spenót) megállapított határértékek 2000 és 4500 mg/kg között alakulnak. Ezek alapján a 4. kezelés esetén mért nitrát-koncentrációk jóval a határérték felett vannak, még az 1. kezelés esetén kapott értékek megfelelnek a meghatározott jogszabályi határértéknek.

A kísérlet során és a mérések elvégzésekor azonban megfogalmazódtak bennem javaslatok, melyet a további kísérletekbe érdemes lenne beépíteni. Az egyik ilyen a növény különböző paramétereinek további mérése, többek között: párologtató felület, nedves és száraz biomassa tömeg, beltartalmi paraméterek (vitaminok, ásványi anyagok). A beltartalmi paraméterek megvizsgálása az élelmiszerként való fogyasztás szempontjából is javasolt. Emellett a további kísérletek során gyakoribb vagy még inkább ritkább tápoldatozása a növényeknek, esetleg másfajta tápoldatozási arány alkalmazása. Javasolt lenne egy SPAD 502 Plus Klorofill mérő

beszerzése. Ezen műszer használata jóval megegyeszerűsíti a termesztett növény klorofill tartalmának meghatározását. A jövőben javasolnám a kísérlet elvégzését további fajtákkal, mint például a május királya vagy jégسالáta. Úgy vélem ezekkel a fajtákkal is elvégezhető a kísérlet, közel megegyező aeropóniás feltételekkel. Illetve esetlegesen ritkább, hazánkban még nem elterjedt fajták, mint például a Lollo rosso, Lollo bionda és madársaláta kipróbálásával. Ezen fajták szabadföldi termesztése nem elterjedt hazánkban, éppen ezért lenne érdemes az aeropóniás termesztésükkel foglalkozni.

Összefoglalás

A globális éghajlatváltozás várhatóan növelni fogja aszályok, árvizek és más szélsőséges időjárási események gyakoriságát, ami számos bizonytalanságot fog okozni a növénytermesztésben. Ilyen körülmények között a talaj nélküli termesztés az időjárási bizonytalanságokhoz történő alkalmazkodás egyik hatékony és alternatív technológiája lehet (TUNIO et al., 2022). Az egyik ilyen technológia az aeropónia. Az aeropónikus rendszerekben a növények gyökerei a levegőben vannak, miközben meghatározott időközönként tápanyagban gazdag vízzel permetezik őket fűvókákon keresztül (FASCIOLO et al., 2023).

A saláta magas tápértéke és ásványi anyag tartalma számos kutató érdeklődését felkeltette beltéri kísérletek során (MICHELON et al., 2020). Ezért a kutatásunk során a tépősalátát (*Lactuca sativa* var. *crispa*) és a rukkolát (*Eruca sativa*) választottuk kísérleti növényeknek. Az aeropónikus rendszerekben a fűvókák cseppmérete, a tápoldat kijuttatásának intenzitása, valamint fény a legfontosabb paraméterek, melyek befolyásolják a növény fizikai és tápanyagtartalmi paramétereit. Mindezek alapján kutatásunk során a célunk az volt, hogy meghatározzuk a különböző tápoldatozási intenzitások hatását az aeropónikusan termesztett tépősalátára és rukkolára. Az aeropónikus rendszerben (AeroFlo20) négy kezelést állítottunk be, melyek a különböző tápoldatozási intenzitásokat jelentették. Minden kezelés esetén a termesztőegységben öt-öt db salátát helyeztünk el. A kísérlet 9 hétig tartott, amely során mértük a levélszám, növénymagasság és a gyökérhossz alakulását, valamint destruktív (80%-os acetonnal és kvarchomokkal) módszerrel meghatároztuk az összes klorofill- ($\mu\text{g/g}$) és karotinoid-tartalmat ($\mu\text{g/g}$), valamint a vízpotenciál és a nitrát-tartalom alakulását (mg/kg). Eredményeink alapján megállapítható, hogy az ausztráliai sárga tépősaláta esetén a tápoldatozási intenzitás csökkenésével a levélszám, a növénymagasság és a gyökérhossz nőtt, tehát naponta kétszer 30 perc tápoldatozás elegendő, ha ezen paramétereket vesszük figyelembe. A rukkola esetén a tápoldatozási intenzitás csökkenésével a levélszám és az összes-klorofill koncentráció nőtt, a gyökérhossz azonban csökkent. Mind a vízpotenciál, mind pedig a nitrát-koncentráció esetén a tépősaláta és a rukkola esetén azonos tendencia volt megfigyelhető. Vízpotenciál esetén a legtöbb napi tápoldatozású (napi kilencszer 15 perc) kezelés esetén szignifikánsan magasabb értékeket kaptunk (tépősaláta: $-3,72 \pm 0,33$ bar; rukkola: $-3,26 \pm 0,34$ bar), mint azon kezelésnél, melyben a növények naponta kétszer kapnak tápoldatot ($p < 0,05$). Nitrát-tartalom esetén a tápoldatozási intenzitás növelésével csökkent a levélben mért nitrát-koncentráció.

Irodalomjegyzék

1. Aggarwal PK, Kalra N, Chander S. (2006) InfoCrop: A dynamic simulation model for the assessment of crop yields, losses due to pests, and environmental impact of agro-ecosystems in tropical environments. I. Model description. *Agric Syst*89:1–25
2. Agrárszektor (2021) <https://www.agrarszektor.hu/elelmeszer/20210716/ugy-veszik-kulfoldon-ezt-a-magyar-zoldseget-mint-a-cukrot-itthon-megis-alig-fogy-31242#>
3. Agrofórum (2022) <https://agroforum.hu/szakcikkek/novenytermesztes-szakcikkek/a-talaj-nelkuli-termesztesi-technologia-forradalmasitja-a-mezogazdasagot/>
4. 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*, 2015; 10: 400–413.
5. 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.
6. Barak P, Smith J, Krueger A, Peterson L. Measurement of short-term nutrient uptake rates in cranberry by aeroponics. *Plant, Cell & Environment*, 1996; 19(2): 237–242.
7. Bray E A, Bailey-Serres J and Weretilnyk E. 2000. Responses to abiotic stresses. (In) *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, pp 1158–249. Gruissem W, Buchannan B and Jones R (Eds). ASPP, Rockville, MD.
8. Campbell, B.D., Stafford Smith, M.D., McKeon, G.M. (1997). Elevated CO₂ and water supply interactions in grasslands: a pasture and rangelands management perspective. *Global Change Biol.*, 3, 177–187.
9. Cen, H., Weng, H., Yao, J., He, M., Lv, J., Hua, S. He, Y. (2017). Chlorophyll Fluorescence Imaging Uncovers Photosynthetic Fingerprint of Citrus Huanglongbing. *Frontiers in Plant Science*, 8.
10. 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.
11. Csontos Gy. (2016) Egyéb zöldségfajok és fűszernövények növényházi technológiája. Szegedi Tudományegyetem Mezőgazdasági Kar. Szeged. 18 p.
12. de Kreij C, van der Hoeven B. Effect of humic substances, pH and its control on growth of chrysanthemum in aeroponics. *Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture*, 1997; pp.207–230.
13. Dixon, G. R. (2012). Climate change – impact on crop growth and food production, and plant pathogens. *Canadian Journal of Plant Pathology*, 34(3), 362–379.
14. Dixon, G.R. (2007). *Vegetable Brassicas and Related Crucifers*. Wallingford: CAB International
15. 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 p.
16. Farran I, Mingo-Castel A M. Potato minituber production using aeroponics: effect of plant density and harvesting intervals. *American Journal of Potato Research*, 2006; 83(1): 47–53.
17. Feller, C., H. Bleiholder, L. Buhr, H. Hack, M. Hess, R. Klose, U. Meier,

18. 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.
19. Garg, G., Sharma, V. (2014) *Eruca sativa* (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Medicinal Properties. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 20(2), 171–182.
20. Garg, G., Sharma, V. (2014). *Eruca sativa* (L.): Botanical Description, Crop Improvement, and Medicinal Properties. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 20(2), 171–182.
21. Gopinath, P., Vethamoni, I. P., Gomathi, M. 2017. Aeroponics Soilless Cultivation System for Vegetable Crops. *Chemical Science and Review Letters*. 6(22), 838-849.
22. Greendrops (2023) <https://rotower.greendropsfarm.com/hu/fold-nelkuli-novenytermesztes/>
23. Gruda N, Bisbis M, Tanny J. Impacts of protected vegetable cultivation on climate change and adaptation strategies for cleaner production—a review. *Journal of Cleaner Production*, 2019; 225: 324–339.
24. Hayden A L. Aeroponic and hydroponic systems for medicinal herb, rhizome, and root crops. *HortScience*, 2006; 41(3): 536–538.
25. Híradó (2018) <https://hirado.hu/belfold/kozelet/cikk/2018/08/09/atalakitja-a-mezogazdasagot-a-klimavaltozas/>
26. Hsiang, S.M., Meng, K.C., Cane, M.A. (2011). Civil conflicts are associated with global climate. *Nature*, 476 (7361), 438–441.
27. Innoocenti, E. D., A. Pardossi, M. Tattini, L. Guidi (2008) Phenolic compounds and antioxidant power in minimally processed salad. *J. Food Biochem.*32:642–653.
28. 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.
29. Kerns, S. C., Lee, J. L. (2017) Automated Aeroponics System using IoT for Smart Farming. 8th International Scientific Forum, ISF 2017, UNCP, USA.
30. 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.
31. Kim, S. J., S. Jin, G. Ishii (2004) Isolation and structural elucidation of 4- (B-d-glucopyranosyldisulfanyl) butyl glucosinolate from leaves of rocket salad (*Eruca sativa* L.) and its antioxidative activity. *Biosci. Biotechnol.* 68:2444–50.
32. Lakhia 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.
33. Lakhia I A, Gao J, Xu X, Syed T N, Chandio F A, 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.
34. Lakhia, I. A., Gao, J., Syed, T. N., Chandio, F. A., Buttar, N. A. 2018. Modern plant cultivation technologies in agriculture under controlled environment: a review on aeroponics, *Journal of Plant Interactions*, 13:1, 338-352.
35. 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 p.
36. 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. Pp. 245-250. Martinus Nijhoff/W. Junk Publ., The Hague – Boston – Lancaster 1984.
37. 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.
 38. Lim M. Trials with aeroponics for the cultivation of leafy vegetables. Proceedings of the 9th International Congress on Soilless Culture, 1996; pp.265–272.
 39. Lockwood, J.G. (1999). Is potential evapotranspiration and its relationship with actual evapotranspiration sensitive to elevated atmospheric CO₂ levels? *Climatic Change*, 41, 193–212.
 40. Magda S., Marselek S. 2000. A mezőgazdasági és élelmiszer-ipari technológia alapjai. Kertészet. Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó. 170 p.
 41. Malhotra S K. (2015) Mission approach for development of protected cultivation. *New Age Protected Cultivation* 1(1): 29–32.
 42. Massantini, F., Favilli, R., Magnani, G., Oggiano, N. (1988). Soilless culture, biotechnology for high quality vegetables. *Soilless Culture* 4, 27–40.
 43. Mendiburu, M. (2020) *Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research*. R package version 1.3-3. <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>
 44. Mezőhír (2022) <https://mezohir.hu/2022/03/31/agrar-salatabol-is-netto-importorok-vagyunk-mezogazdasag/>
 45. Mezőhír (2023) <https://mezohir.hu/2023/03/16/agrar-csokkent-a-salata-kereslete-importja-mezogazdasag/>
 46. Michelon N, Pennisi G, Myint N O, Dall’Olio G, Batista L P, Salviano AAC. (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.
 47. Minapoli (2022) <https://www.minapoli.com/info/mengenal-akuaponik-teknologi-pertanian-sederhana-di-era-urban-farming>
 48. 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.
 49. Narayan Raj. 2009. Air pollution–A threat in vegetable production. (In) International Conference on Horticulture (ICH-2009) Horticulture for Livelihood Security and Economic Growth. Sulladmath U V and Swamy K R M (Eds.). pp 158–9.
 50. NASA Spinoff. (2006) Innovative partnership program, publications and graphics department NASA center for aerospace information.
 51. Otazú V. (2014) Manual on quality seed potato production using aeroponics. Lima (Peru): International Potato Center (CIP); p. 44.
 52. Pulido, M. V., F. P. Capote, B. A. Sanchez, S. Saha, M. Philo, S. O. Cano, A. D. H. Balion, R. Font, M. D. R. Celestino. 2013. An Approach to the phytochemical profiling of Rocket (*Eruca sativa* (Mill.) Thell). *J. Sci. Food Agric.*
 53. R Core Team (2017) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
 54. R. Stauss, T. Van Den Boom, E. Weber, (1995) Phänologische Entwicklungsstadien von Gemüsepflanzen: I. Zwiebel-, Wurzel-, Knollen- und Blattgemüse. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd.* 47, 193-206.
 55. Repetto A, Cadinu M, Leoni S. The effect of plant position on root development and vegetative growth in aeroponic lettuce. *Acta Horticulturae*, 1993; 361: 603–611.

56. Reyesa, J.L., Montoya, R, Ledesma, C., Ramirez, J. 2012. Development of an aeroponic for vegetable production. *Acta Hort.*
57. Schreiber U., Bilger W., Klughammer C., Neubauer C. (1988): Application of the PAM fluorometer in stress detection. Kluwer Academic Publishers. p 151-155.
58. Slezák K, Terbe, I. (2019) Talaj nélküli zöldségfajtatás. Mezőgazda Lap- és Könyvkiadó, Budapest. 419 p.
59. Slezák, K. A. (2001): Fehér termésű paprika sötétítése. Doktori értekezés. Szent István Egyetem Zöldség- és Gombatermesztési Tanszék.
60. Srinivasa Rao N K. 1995. Management of heat moisture and other physical stress factors in tomato and chilli in India. (In) Collaborative vegetable research in South Asia. Proceedings of the SAVERNET Midterm review workshop, AVRDC, Tainan.
61. Superseeds (2023) <https://www.superseeds.com/products/australian-yellow-leaf-50-days>
62. 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.
63. 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).
64. Terra Aquatica (2023) <https://www.terraaquatica.com/mineral-fertiliser-solutions/tripart/>
65. Tojo Soler CM, Sentelhas PC, Hoogenboom G. (2007) Application of the CSM-CERES-Maize model for planting date evaluation and yield forecasting for maize grown off-season in a subtropical environment. *Eur J Agron*; 27:165–77.
66. Tunio M H, Gao J, Lakhari I A, Solangi K A, Qureshi W A, Shaikh S A. Influence of atomization nozzles and spraying intervals on growth, biomass yield, and nutrient uptake of butter-head lettuce under aeroponics system. *Agronomy*, 2021; 11(1): 97–113.
67. Tunio M H, Gao J, Shaikh S A, Lakhari I A, Qureshi W A, Solangi K A. Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2020; 80(1): 118–132.
68. Tunio M H, Gao J, Shaikh S A, Lakhari I A, Qureshi W A, Solangi K A. Potato production in aeroponics: An emerging food growing system in sustainable agriculture for food security. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2020; 80(1): 118–132.
69. Tunio M. H., Gao J., Lakhari 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.
70. Xu, H.-l, Gauthier, L., and 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.

Ábrák, táblázatok jegyzéke

Táblázatok jegyzéke

1. táblázat: A talaj nélküli termesztés előnyei és hátrányai	11
2. táblázat: A kísérletben alkalmazott tápoldatok	17
3. táblázat: Kísérletben alkalmazott fényprogram összetétele	18
4. táblázat: Ausztráliai sárga átlag magassága kezelésenként	25
5. táblázat: Rukkola átlag magassága kezelésenként	26
6. táblázat: Átlagos levélszám alakulása rukkola esetén	29
7. táblázat: Fv/Fo hányados alakulása rukkola teszt növény esetén	32
8. táblázat: Fv/Fm hányados alakulása ausztráliai sárga teszt növény esetén	33
9. táblázat: Fv/Fo hányados alakulása ausztráliai sárga teszt növény esetén	33

Ábrák jegyzéke

1. ábra: Hidropónikus rendszer felépítése	12
2. ábra: Akvapónikus rendszer felépítése	13
3. ábra: Aeropónikus rendszer felépítése	14
4. ábra: Balról jobbra haladva: Magok csírázása közetgyapot kockákon, A vetést követő ötödik nap (BBCH skála 1.2 szakasz), A vetést követő tizenkettedik nap (BBCH skála 1.3 szakasz), Kilencedik hét (BBCH skála 4.9. szakasz) Forrás: Saját, 2023.	18
5. ábra: A kezelések elhelyezkedése	19
6. ábra: A hőmérséklet és a relatív páratartalom az aeropónikus rendszerben a kísérlet ideje alatt	20
7. ábra: Ausztráliai sárga magasságának a mérése	24
8. ábra: Növénymagasság alakulása az ausztráliai sárga teszt növény esetén	24
9. ábra: Növénymagasság alakulása a rukkola teszt növény esetén	25
10. ábra: Virágzó rukkola	26
11. ábra: Felmagzott ausztráliai sárga	27
12. ábra: Ausztráliai sárga levélszámának alakulása	27
13. ábra: Rukkola levélszám	28
14. ábra: Ausztráliai sárga gyökérhossz	29
15. ábra: Rukkola gyökérhossz	30
16. ábra: A rendszerből kivett rukkolák	31
17. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet ötödik hetében az ausztráliai sárga teszt növény esetén	34
18. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet kilencedik hetében az ausztráliai sárga teszt növény esetén	34
19. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet ötödik hetében a rukkola teszt növény esetén	35
20. ábra: Összes klorofilltartalom (µg/g) és összes karotinoid-tartalom (µg/g) alakulása a kísérlet kilencedik hetében a rukkola teszt növény esetén	35
21. ábra: Ausztráliai sárga vízpotenciáljának alakulása	36
22. ábra: Rukkola vízpotenciáljának alakulása	37
23. ábra: Nitrát-koncentráció (mg/kg) alakulása	38

Köszönetnyilvánítás

Köszönetet szeretnék mondani konzulensemnek, Dr. Gorliczay Editnek a kísérlet végzése és a dolgozat írása során nyújtott lelkiismeretes segítségéért és fáradhatatlan kitartásáért. A szakdolgozatom nem készülhetett volna el az Ő szakértelme és tapasztalata nélkül.

Továbbá szeretném megköszönni Prof. Dr. Tamás János, egyetemi tanárnak a Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet vezetőjének és és Prof. Dr. Nagy Attila egyetemi tanárnak, a Víz tudományi és Környezetinformatikai Tanszék vezetőjének, hogy lehetőséget biztosítottak számomra, hogy az Intézetben végezhessem a kutatásomat.

Szeretném megköszönni az aeropóniás labor csapatának, a közös munka során nyújtott segítségét és támogatását,

Végül, de nem utolsó sorban köszönettel tartozom a családomnak és a barátaimnak, végtelen türelmükért és odaadó támogatásukért, mellyel bíztattak a dolgozat írása során.

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