

SZEGEDI TUDOMÁNYEGYETEM  
Természettudományi és Informatikai Kar

Növénybiológiai Tanszék



37. OTDK Biológia Szekció

**LED-világításnak kitett mikroözd növényfajok élettani  
összehasonlítása**

**Karginov Rebeka**

Biológia BSc szakos hallgató, I. évfolyam

TÉMAVEZETŐ:

**Dr. Szepesi Ágnes**

egyetemi adjunktus

2024

Szeged

# 1. Tartalomjegyzék

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Tartalomjegyzék.....                                                                      | 2  |
| 2. Tartalmi bevezető.....                                                                    | 3  |
| 2.1 A mikroöld növények, mint új funkcionális élelmiszerek.....                              | 3  |
| 2.2 A mikroöld növények termesztése.....                                                     | 4  |
| 2.3 Mikroöldök az úrkutatásban.....                                                          | 6  |
| 2.4 Mikroöldök egészségre gyakorolt hatásai.....                                             | 7  |
| 2.5 Néhány ismertebb mikroöld növényfaj.....                                                 | 9  |
| 3. Célkitűzések.....                                                                         | 11 |
| 4. Anyagok és módszerek.....                                                                 | 12 |
| 4.1 A növényi anyag és a nevelési körülmények.....                                           | 12 |
| 4.2 A kifejtett növényi anyag paramétereinek vizsgálata.....                                 | 13 |
| 4.3 A pigmenttartalmak meghatározása.....                                                    | 14 |
| 4.4 Az aszkorbinsav tartalom meghatározása.....                                              | 14 |
| 4.5 A fehérjetartalom meghatározása.....                                                     | 15 |
| 4.6 Az összantioxidáns kapacitás meghatározása (FRAP).....                                   | 15 |
| 4.7 A szabad poliamin szintek vizsgálata HPLC segítségével.....                              | 16 |
| 5. Eredmények és értékelésük.....                                                            | 18 |
| 5.1 A LED világításnak kitett növényfajok morfológiai és növekedési válaszai.....            | 18 |
| 5.2 A LED világításnak kitett növényfajok fotoszintetikus pigment tartalmának változása..... | 21 |
| 5.3 A LED világításnak kitett növényfajok aszkorbinsav tartalmának változásai.....           | 22 |
| 5.4 A LED világításnak kitett növényfajok összantioxidáns kapacitásának változásai.....      | 23 |
| 5.5 A LED világításnak kitett növényfajok szabad poliamin tartalmának változásai.....        | 24 |
| 6. Diskusszió.....                                                                           | 25 |
| 7. Irodalomjegyzék.....                                                                      | 27 |
| 8. Köszönetnyilvánítás.....                                                                  | 32 |

## 2. Tartalmi bevezető

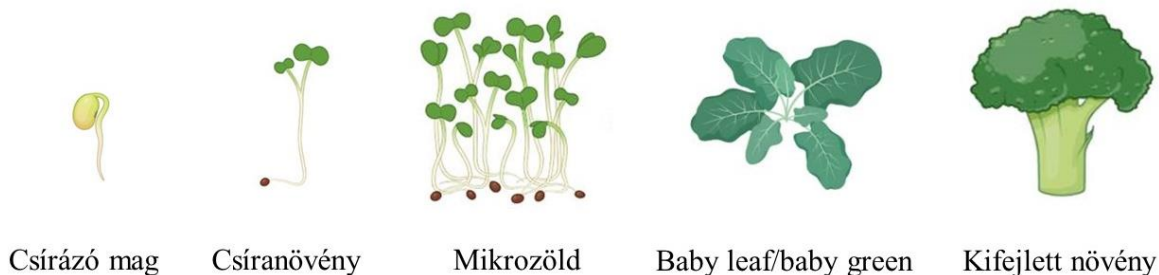
### 2.1 A mikrozöld növények, mint új funkcionális élelmiszerek

Napjainkban a fenntartható mezőgazdaság és az élelmiszerbiztonság egyre inkább előtérbe kerül, köszönhetően a világnépesség gyarapodásának, a szélsőséges és kiszámíthatatlan időjárási körülményeknek, valamint a termőföldek minőségbeli romlásának. 2019-ben hirdették meg a cselekvés évtizedét a fenntartható fejlődés előmozdítására különféle célok (SDG célok, sustainable developmental goals) meghatározásával (ENSZ, 2023). A beltéri körülmények között nevelt mikrozöld növények termesztése legalább 4 SDG célnak eleget tesz: az éhezés megszüntetése (SDG2), egészség és jóllét (SDG3), fenntartható városok és közösségek (SDG11), felelős fogyasztás és termelés (SDG12). A városi lakosság ugrásszerű megemelkedésével fenntartható, elérhető, és tápanyagban gazdag élelmiszer ellátásra van szükség, amelyre a mikrozöldek kiváló megoldást jelenthetnek, köszönhetően könnyű termesztőségüknek, magas vitamin és antioxidáns tartalmuknak, illetve karakteres ízviláguknak. Mikrozöldeknek nevezzük azokat a kisméretű, fiatal növényeket, amelyek lehetnek különböző zöldség-, fűszer- és gabonafajok (Zhang, 2021).

A mikrozöld elnevezéssel kapcsolatban megosztó a szakirodalom: leggyakrabban a növény életciklusának 7. és 14. napja közötti időszakot tartják mikrozöld fázisnak, ilyenkor az első sziklevelek megjelenését követően a növények általában 2,5-7,6 cm nagyságúak (Xiao és mtsai, 2012). Néhány publikáció viszont egészen a 21. napig használja a mikrozöld elnevezést, amikor már a valódi levelek is megfigyelhetők (Bhaswant és mtsai., 2023).

Bár a közvélemény sokszor egy fogalomnak tekinti, a mikrozöldek és a csírák különböznek egymástól. Csírának azokat a fejlődési fázisban lévő növényeket nevezzük, amelyek részben vagy teljesen áthaladtak a csírázás folyamatán, illetve az elfogyasztásuk gyökereikkel együtt történik. Termesztésük során a magok sűrűsége magas, növekedésük magas nedvességtartalomnál, sötétben történik, ami növeli a fertőzés esélyét (Poorva és Aggarwal, 2013). A mikrozöldek esetében a gyökerek nem kerülnek felhasználásra (Riggio és mtsai., 2019), betakarításuk csak a talaj felett megjelenő növényi részeket érinti. A csírákkal ellentétben itt szükséges fényt biztosítani, amely lehet természetes vagy mesterséges. A magok sűrűsége alacsony, hiszen a növekedő növényeknek szükségük van térre, ez csökkenti a fertőzések arányát (Mir és mtsai, 2017). Az elérhető irodalmi adatok alapján a második hetet követően a növények a következő fejlődési fázisba lépnek, amit „baby leaf” szakasznak

nevezhetünk, ez a 14. és a 21. nap között valósul meg. Baby leaf szakaszban a növények ideális fejlődéséhez már szükséges a trágyázás vagy a vegyszerekkel történő kezelés (Di Gioia, 2017). Az 1. ábra mutatja be a növények fejlődési szakaszainak morfológiáját.

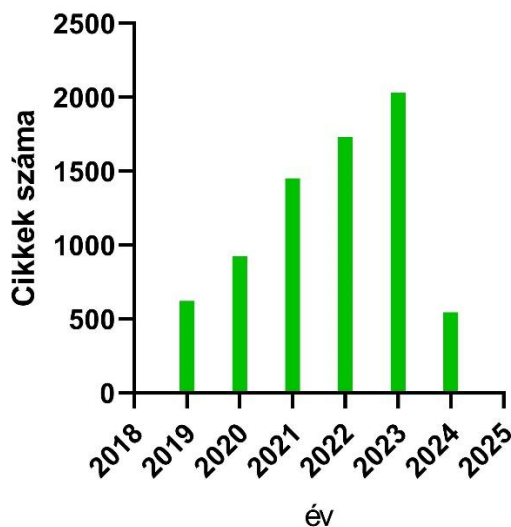


1. ábra: Az eltérő növényi fejlődési szakaszok zöldség növények esetén. (Biorender programmal készített szemléltető ábra)

## 2.2 A mikrozöld növények termesztése

Az elmúlt évtizedekben nagyon megnövekedett a kereslet a friss, funkcionális élelmiszerek, így a mikrozöldek iránt is, amit jól mutat a mikrozöldekkel kapcsolatos irodalmak növekvő tendenciája (2. ábra).

### Mikrozöldekkel kapcsolatos szakirodalom



2. ábra: A mikrozöldekkel kapcsolatos szakirodalom nagyfokú emelkedést mutat. Jól látható a Covid-19 járvány utáni ugrásszerűen bekövetkező tendencia (Google Scholar alapján végzett keresés, saját ábra).

A mikrozöldek termelésének fő aratás előtti tényezőit, mint például a fajtaválasztást, a trágyázást, a biofortifikációt, a megvilágítást és a betakarításkor mért addigi növekedést a termesztett növény fiziológiájának és minőségének szempontjából vizsgálják, valamint az aratás utáni kezelések és alkalmazások során, a hőmérsékletet, a légösszetételt, a megvilágítást, illetve a csomagolástechnológiát is figyelembe veszik. Ezen tényezők mind befolyásolják a termék eltarthatóságát és mikrobiális biztonságát (Kyriacou és mtsai, 2016). A mikrozöldek kiegészítésként alkalmasak lehetnek a városi farmokba (urban farming), mivel rövid periódus alatt képesek biztosítani a háztartások számára a tápanyagellátást (Di Gioia és mtsai, 2017). A mikrozöldek továbbá ösztönző hatással vannak a kis közösségek növénytermesztésére (Herrmann és mtsai, 2020), illetve a táplálkozási ismeretek további bővítésében is segítséget nyújtanak (Haslund-Gourley és mtsai, 2022).

Az otthoni termesztés egyik legegyszerűbb módját azok a rendszerek képezik, amelyek talajmentesek, ilyenkor többek között kókuszrost az ültetőközeg (Di Gioia és mtsai, 2017, Thuong és mtsai, 2020). Manapság sokféle felhasználóbarát készlet kapható, amelyek nagy népszerűségnek örvendenek. A készletek alapelve egy matrac, amely az elvetett magokat és a kókuszrost ültetőközeget tartalmazza. Az ilyen típusú termesztés nem munkaigényes, hiszen a kókuszrostra ráhelyezett matragnak csak egyszer szükséges vizet adni.



Teng Z, et al. 2023  
Annu. Rev. Food Sci. Technol. 14:539–62

3. ábra: Mikrozöld nevelő készlet. 1(a), csíráztató szőnyeg, előre elvetett magokkal. 2(b), csíráztató szőnyeg elhelyezése locsolás után. 3(c), zsebekből előbukkanó csírázó palánták. 4(d), mikrozöldek aratása (módosítva Teng és mtsai, 2022 ábrája alapján)

A beltéri termesztés, például a vertikális farmok lehetővé teszik a magas tápanyag tartalmú növények termesztését, nagyobb hozam létrehozásával, azáltal, hogy hatékonyan használják az erőforrásokat, mint például a vizet, tápanyagokat, időt, és teret (összefoglalva Szepesi, 2023). Ezekben a farmokban a növények kontrollált körülmények között nevelkednek. Befolyásolni tudják a hőmérsékletet, fényt, a szén-dioxid koncentrációt, vagy a páratartalmat. A zárt körülmények miatt a napsugárzást –ami elengedhetetlen a fotoszintézishez- különböző hullámhosszú általában LED megvilágítással helyettesítik. A LED megvilágítás magasabb energiahatékonysággal és tartóssággal bír, mint a tradicionális megvilágításra használt fénycsővek. A fent említett tényezőknek köszönhetően ezzel a termesztési technikával csökkenteni lehet a farmok ökológiai lábnyomát (Specht és mtsai, 2014).

## **2.3 Mikroözledek az űrkutatásban**

A képesség, hogy az emberek hosszabb időt tölthessenek az űrben nagyban függhet a friss növények termesztetőségétől. A NASA (National Aeronautics and Space Administration) vizsgálja a levélzöltségek termesztetőségét a Nemzetközi Űrállomáson, hogy az űrhajósoknak megfelelő tápanyagokat tudjanak nyújtani. A növények termesztésének számos kihívása van például a mikrogravitáció, limitált hely és munkaerő, illetve az emelkedett sugárzási szintek (Hummeric és mtsai, 2021, Johnson és mtsai, 2021).

A mikroözledek egyedi tulajdonságaik miatt ideálisak lehetnek az űrbéli termesztésre. Rövid fejlődési periódusuk és a horizontális termesztésük lehetőséget biztosít arra, hogy a személyzet számára minimalizálni tudja a növények gondozására fordítandó időt. Relatív kicsi fény- és vízigényük előnyös, mivel az űrben mindezek limitált mennyiségben érhetőek el. Erős ízük és feltűnő megjelenésük nemcsak az asztronauták étvágyát képes növelni, de a mentális egészségükhöz is pozitívan járul hozzá (Teng és mtsai., 2022). A mikroözledek hátránya, hogy nem képesek utódokat hozni, ami nagy mennyiségű magfogyasztáshoz vezet, illetve a kifejlett növényekhez mérten jóval kisebb az oxigén kibocsátásuk (Kyriacou és mtsai, 2017).

## 2.4 Mikrozöldek egészségre gyakorolt hatásai

A táplálkozás elengedhetetlen az emberi fejlődéshez, az energiát és a túléléshez szükséges tápanyagokat, vitaminokat tartalmazza (Chen és mtsai, 2018). A modern élelmiszertudomány kimondja, hogy az egészséges táplálkozás jelentős részben magába foglalja a növényi eredetű tápanyagokat (Minich, 2019). Manapság az étrendek összeállításánál komoly szerepet kapnak a mikroelem hiány és a krónikus betegségek, például az elhízás megelőzésére szolgáló tápanyagok (Cena és mtsai, 2020).

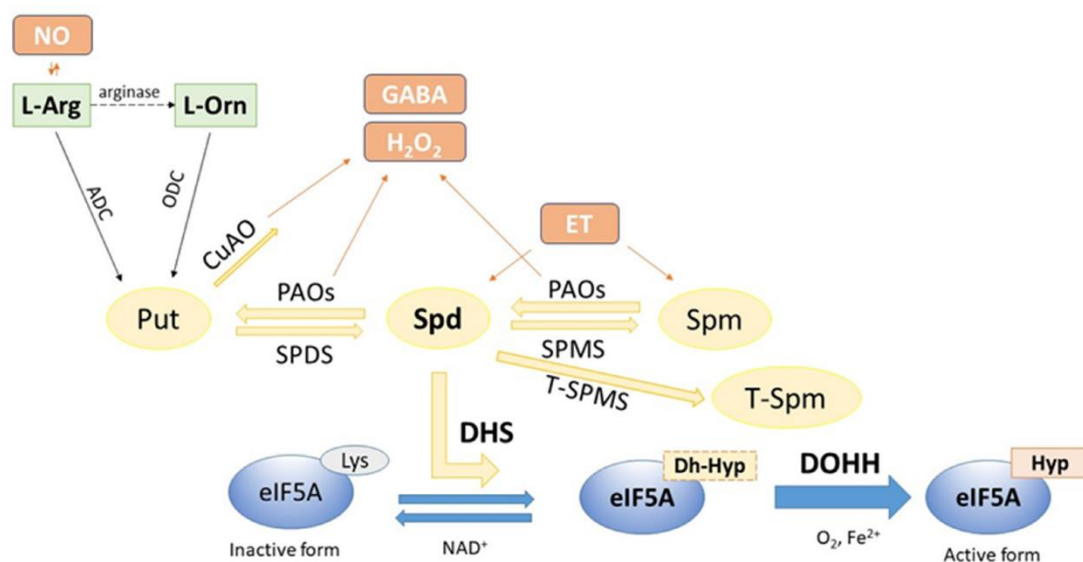
A krónikus anyagcsere-rendellenességek, amelyek hosszabb időperióduson át károsítják az emberi testet mindig is nagy problémát okoztak. Az anyagcsere betegségek általában nem okoznak azonnali veszélyt a szervezetre, ám mivel hosszabban fennmaradnak, elősegítik más kórok kialakulását (Hotamsligil, 2006).

A cukorbetegségben szenvedő betegek szervezetében a sejtek inzulinrezisztenssé válnak, más esetben a hasnyálmirigy sejtjei nem képesek a megfelelő inzulinszint fenntartására (Blair és mtsai, 2016). Kimutatták, hogy olyan elhízott egerekben, akiket magas zsírtartalmú étrenddel tápláltak a liofilizált brokkoli mikrozöld por csökkentette a vércukorszintet 2 g/kg adagolása esetén (Ma és mtsai, 2022).

A funkcionális élelmiszerek olyan tápanyagok amelyek egészségvédő vagy betegség-megelőző tulajdonságokkal bírnak, magas a bioaktív hatóanyag-tartalmuk miatt a mikrozöldeket is ide szokták sorolni. Tartalmaznak karotinoidokat, klorofilokat, polifenolokat, tokoferolt, aszkorbátot (M.B. Roberfroid, 1999, Teng és mtsai, 2021). A Brassicaceae családba tartozó mikrozöldeket rákos-, szív és érrendszeri megbetegedésekben szenvedő, illetve elhízott betegeknek szokták javasolni (Choe és mtsai, 2018). *In vitro* kísérletek bizonyították, hogy a brokkoli képes volt gátolni a rákos sejteket vastagbélrák esetén, azáltal, hogy növelték a reaktív oxigénformák szintjét és csökkentették a glutation szintet, megváltoztatva a redox státuszt, és mitokondriális membrán disszipációt okozva, amit általános sejtciklus leállás követett a G2/M fázisban, majd ezt követően apoptikus sejthalál volt megfigyelhető (de la Fuente, és mtsai 2020). Az antiproliferatív hatásnak két magyarázata van: az első, hogy a mikrozöldek magas antioxidáns tartalmuknál fogva képesek a szabadgyökök eltávolítására, ezzel elősegítik a normális szignalizációt és megakadályozzák a sejtek károsodását (do Carmo és mtsai, 2018). Másodszor, kiderült, hogy bizonyos polifenolok, mint például az epigallokatechin-3-gallát (EGCG), a kvercetin és a kurkumin prooxidánsként működhetnek. Képesek hidrogén-peroxidot termelni, ami a ráksejteket úgy

pusztítja, hogy közben az egészséges szövetekben a károsodás mértéke minimális marad (D'Angelo és mtsai, 2017; León-González és mtsai, 2015).

Bár a mikrozöldek beltartalmi értékeiről egyre több kutatási anyag jelenik meg, a poliamin metabolizmusuk még nem ismert. A poliaminok esszenciális polikationok, amelyek minden élő szervezetben megtalálhatóak. A leggyakrabban előforduló szabad poliaminok a diamin putreszcin (Put), a triamin spermidin (Spd) és a tetramin spermin (Spm) (Pálfi és mtsai., 2021) (4. ábra). A táplálkozás során a mikrozöldek a bélcsatornában lebontásra kerülnek, így befolyásolják a mikrobiom összetételét és funkcióját, amiben fontos szerep jut a poliaminoknak (Ramos-Molina és mtsai., 2019).



4. ábra: A poliaminok metabolizmusa és kapcsolódása más szignalizációs útvonalakkal  
rövidítések: PAO-poliamin-oxidáz, SPDS-spermidin-szintáz, SPMS-spermin-szintáz, DHS-dezoxihipuzin-szintáz, DOHH-dezoxihipuzin-hidroxiláz, eIF5A (lys)- eIF5A lizint tartalmazó prekursor forma, eIF5A (Dh)-eIF5A dezoxihipuzint tartalmazó intermediér forma, eIF5A (Hyp)-eIF5A hipuzint tartalmazó aktivált forma (Pálfi és mtsai, 2021)

Összeségében elmondható, hogy bár az eddigi eredmények pozitívak, azonban a mikrozöldekkel kapcsolatos kutatások sok új kérdést vetnek fel, amelyek megválaszolásához további vizsgálatokra van szükség, melyek segítségével elérhetőek a fenntartható fejlődésben megfogalmazott célok.

## 2.5 Néhány ismertebb mikrozöld növényfaj

A brokkoli másnéven *Brassica oleracea* var. *italica* egy Brassicaceae családba tartozó növényfaj. Gazdag különféle bioaktív hatóanyagokban, például vitaminokban (C- és E-vitamin), ásványi anyagokban (Ca, Zn, K) és rostokban. Bizonyítottan rákellenes, gyulladáscsökkentő és antimikrobiális hatással bír (Li és mtsai, 2022). A saláta, latinul *Lactuca sativa*, amely az Asteraceae családba tartozik az egyik legszélesebb körben alkalmazott zöldség világszerte, alacsony kalória- és zsírtartalma, és hasznos tápanyagokban való gazdagságának köszönhetően. Mikrozöld változatukban kevesebb nitrátió ( $\text{NO}_3^-$ ) található, így fogyasztásuk biztonságosabb, mint a kifejlett növényeké (Pinto és mtsai, 2015). A kerti zsázsa tudományos nevén *Lepidium sativum* a Brassicaceae családba tartozó egynyári gyógynövény, amelyet magas tápanyagtartalma és aminosav tartalma miatt már évszázadok óta használnak (Painuli és mtsai, 2022). A növények részletesebb tápanyagtartalmára vonatkozó adatai az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat: A brokkoli, a saláta és a zsázsa tápanyag összetétele mikroöld és kifejlett növényekben. A kerti zsázsa esetén megjegyzendő, hogy az adatok a kifejlett növényre vonatkoznak.

| Növényfaj                                                       | Tápanyag                                                                                                                                             | Megállapítások a mikroöld és a teljesen kifejlett állapotok között                                                                                                                                               | Referencia                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Brokkoli<br>( <i>Brassica oleracea</i><br>var. <i>italica</i> ) | <ul style="list-style-type: none"> <li>pigment anyagok</li> <li>aszcorbinsav</li> <li>fenolos vegyületek</li> </ul>                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Polifenolokban és karotinoidokban gazdag</li> <li>mikroöldekben magasabb Mg, Mn, Cu és Zn szint</li> <li>legmagasabb a C-vitamin szint a vizsgált fajok között</li> </ul> | Marchioni és mtsai, 2021<br>Weber, 2017<br>Kathi és mtsai, 2023             |
| Saláta<br>( <i>Lactuca sativa</i> )                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>aszcorbinsav</li> <li>ásványi anyagok</li> <li>klorofill</li> <li>karotinoidok</li> <li>antociánok</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>mikroöldekben 42%-kal több aszcorbinsav</li> <li>79%-kal több fenolos vegyület,</li> <li>magasabb Mg, Fe, Mn, Zn, Se and Mo</li> </ul>                                    | Martínez-Ispizua és mtsai, 2022<br>Pinto és mtsai, 2015                     |
| Kerti zsázsa<br>( <i>Lepidium sativum</i> )                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>aminosavak</li> <li>zsírsavak</li> <li>ásványi anyagok</li> </ul>                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>magas glutaminsav és aszparginsav tartalom</li> <li>magas sztearinsav és palmitinsav koncentráció</li> <li>K, Ca, Mg, Na, Fe tartalom</li> </ul>                          | Painuli és mtsai, 2022<br>Prajapati és mtsai, 2014<br>Hassan és mtsai, 2011 |

### 3. Célkitűzések

A mikroööldekkel kapcsolatos szakirodalom számos ellentétes és olykor bizonytalan információt tartalmaz, ami nehezíti a mikroööldek élettani jelentőségének megismerését mind kutatási mind élelmiszerbiztonsági szempontból.

Ezért munkám során célul tűztem ki, hogy megvizsgálom három különböző mikroööld növényfaj (brokkoli, saláta, kerti zsázsa) fejlődését.

Kérdésként merült fel:

- Mutatnak-e fajfüggést a különböző stresszmarkerek a fejlődési fázisok során?
- A szakirodalomban található 7-21 napos (1-3 hét) fejlődési ciklusok elkülönülnek-e egymástól, illetve mutatnak-e fajfüggést, ha igen eben az esetben nevezhetjük-e mikroööldeknek őket?
- A vizsgált növényfajok mutatnak-e családonként megjelenő eltéréseket?
- A poliaminok metabolizmusa milyen különbségeket mutat a három növényfaj között?

A munkám során elért eredmények hozzájárulhatnak a biztonságos és fenntartható mikroööld növények termesztéséhez.

## 4. Anyagok és módszerek

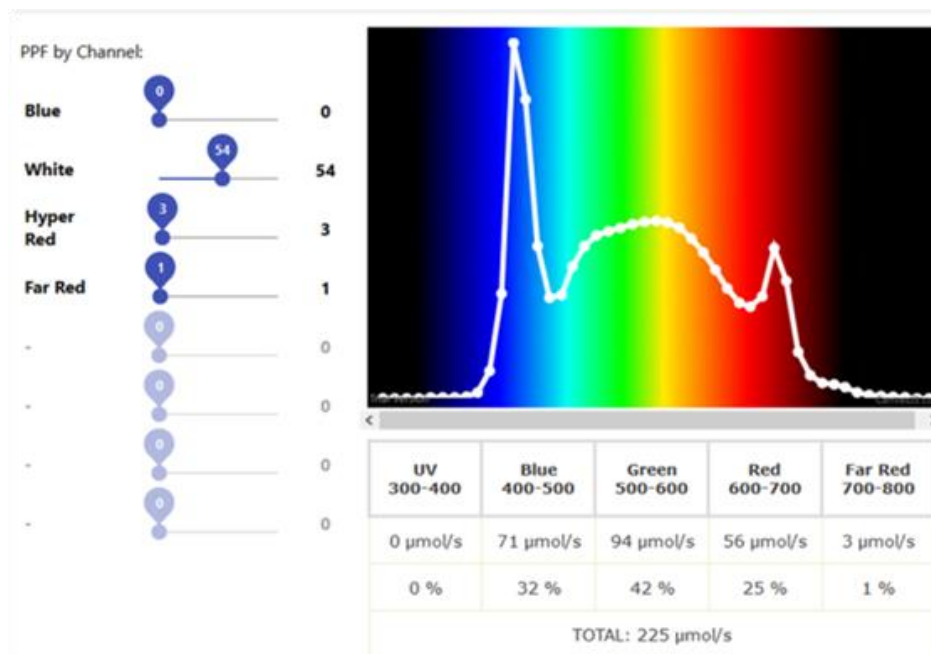
### 4.1 A növényi anyag és a nevelési körülmények

Kísérleteinket három különböző növényfajon, és két különböző fejlődési stádiumban végeztük: brokkolin (*Brassica oleracea* var. *italica*), salátán (*Lactuca sativa*) és kerti zsázsán (*Lepidium sativum*), korai mikrozöld (7. nap, 1 hét), illetve „baby leaf” (21. nap, 3. hét) szakaszban.

A magokat egy napig, nedves szűrőpapíron, 26 °C hőmérsékleten, sötétben csíráztattuk, majd ezt követően kókuszrostra helyeztük őket. A növények 1-3 héten keresztül betakarításuk függvényében- kontrollált környezetben nevelkedtek a növénynevelőben (5.ábra). Az alkalmazott fényt a saláta fényigényére kalibráltuk (12 h nappal/12 h sötét, PPFD: 225  $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$  (Paz és mtsai. 2019 alapján).



5. ábra: A növénynevelés körülményei: a polcokon a LED világítás alatt tartott vízkultúrák növénynevelő rendszer látható, benne a fejlődő növényekkel.



6. ábra: A LED világítás beállításai a SZTE TTIK Növénybiológiai Tanszék polcrendszerén. Az alkalmazott fény a saláta fényigényére kalibrált (12 h nappal/12 h sötét, PPFD: 225  $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$  (Paz és mtsai. 2019 alapján).

A LED világítás beállítása Powergrow (Food Autonomy, Budapest, Magyarország) szoftver használatával történt (6. ábra). A hidropóniás rendszerben a növények számára heti háromszor módosított Hoagland tápoldattal biztosítottuk az optimális fejlődést. A tápoldat a következőket tartalmazta: 2 mM  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 1 mM  $\text{MgSO}_4$ ; 0,5 mM  $\text{KCl}$ ; 0,5 mM  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ; 0,5 mM  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ; 0,001 mM  $\text{MnSO}_4$ ; 0,005 mM  $\text{ZnSO}_4$ ; 0,001 mM  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ ; 0,01 mM  $\text{H}_3\text{BO}_4$ ; 0,02 mM  $\text{Fe(III)-EDTA}$  (Szepesi és mtsai., 2009).

## 4.2 A kifejlett növényi anyag paramétereinek vizsgálata

A betakarítást követően a növények hajtásának megállapítottuk a hosszát (cm), a pontos eredmények és a rövid időablak miatt a mérést vonalzóval végeztük, illetve megmértük a friss tömegét (mg), annak érdekében, hogy a további vizsgálatokat el tudjuk végezni.

### 4.3 A pigmenttartalmak meghatározása

A növényfajok pigmenttartalmának mérése során 20 mg friss tömegű növényi anyagból dolgoztunk. A dörzsöléshez 95%-os etanol oldatot alkalmaztunk, amelyből kétszer 300 µl használtunk fel mintánként. Az eldörzsölt homogenizátumokat 10 percen keresztül centrifugáltuk Eppendorf centrifugával (Eppendorf 5424R, Eppendorf GMBH, Németország) 13,523 RCF és 4 °C-on majd a keletkezett felülúszóból a plate-re adagoltuk a mintákat. Az elkészült vizsgálati anyagot négy különböző optikai hullámhosszon 470 nm, 534 nm, 643 nm, és 661 nm monitoroztuk plate reader segítségével (Clariostar plus, BMG Labtech, Ortenberg, Németország). A kapott optikai denzitás adatokból Szepesi és mtsai, 2022 számolása alapján történt a pigmentek friss tömegre vonatkoztatott mennyiségének meghatározása.

### 4.4 Az aszkorbinsav tartalom meghatározása

A redukált aszkorbinsav és dehidroaszkorbinsav szintek meghatározását Gillespie és mtsai. (2007) protokollja alapján végeztük. A minta előkészítése során a növényi szöveteket homogenizáltuk (200 mg) 500 µl 6% TCA-ban, majd újabb 500 µl 6% TCA alkalmazásával mostuk át. A homogenizátumokat Eppendorf centrifugával (Eppendorf 5424R, Eppendorf GMBH, Németország) 10 percen keresztül centrifugáltuk 13,523 RCF, 4 °C-on. A redukált aszkorbinsav tartalom meghatározásához 200 µl felülúszóhoz 100 µl K-foszfát puffert adtunk félkémcsőben, majd ehhez 200 µl tisztított vizet adtunk. A reakcióelegy összetétele a következő volt:

500 µl 10 % TCA

400 µl 43 %  $\text{H}_3\text{PO}_4$

400 µl 4 %  $\alpha$ - $\alpha'$ -bipiridil

Utolsó lépésként vortexelés közben 200 µl 3 %  $\text{FeCl}_3$  oldatot adtunk az elegyhez. Az elkészült mintákat 37 °C-on 1 órán keresztül inkubáltuk. Az összes aszkorbinsav tartalom meghatározása során 200 µl mintához 100 µl K-foszfát puffert adtunk félkémcsőben, majd 100 µl 10 mM DTT-t adtunk az elegyhez, amelyet szobahőmérsékleten 10 percig inkubáltunk. Az inkubáció után 100 µl 0,5% N-etilmaleimid hozzáadásával állítottuk le a redukciós

folyamatot. Az ezt követő lépések megegyeztek a redukált aszkorbinsav tartalom meghatározásánál alkalmazottakkal. A mérést spektrofotométeren (Kontron Uvikon, Milánó, Olaszország) üvegküvettek segítségével végeztük, a detektálás hullámhossza 525 nm volt.

#### 4.5 A fehérjetartalom meghatározása

A növényi szövetek fehérjetartalmának meghatározásához Bradford és mtsai (1976) protokollját alkalmaztuk. A méréshez 200 mg friss tömegű növényi mintát homogenizáltunk, pH 7,0 50 mM foszfát pufferben ( $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ). Az elkészült homogenizátumot 10 percig Eppendorf centrifugával homogenizáltuk (Eppendorf 5424R, Eppendorf GMBH, Németország) 13,523 RCF 4°C-on. A felülúszót enzimmikivontként alkalmaztuk, majd a reakcióelegy összeállításához a következőket használtuk fel: 900 µl tisztított vizet, 5 µl enzimmikivontot és 100 µl Bradford reagenst elegyítettünk. A plate-re 200-200 µl-t mértünk ki a reakcióelegyből, melyek optikai denzitását plate reader segítségével (Clariostar plus, BMG Labtech, Ortenberg, Németország) mértük meg.

#### 4.6 Az összantioxidáns kapacitás meghatározása (FRAP)

A vizsgált növényi anyag összantioxidáns aktivitásának meghatározását Benzie és Strain módosított protokolljának (1996) segítségével végeztük. A FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) lényege, hogy a ferri- $(\text{Fe}^{3+})$ -ionok antioxidánst tartalmazó vegyületekkel reagálva ferro- $(\text{Fe}^{2+})$ -ionokká redukálódnak. Az ilyen vegyületek alacsony pH-n a tripyridil-triazinnal (TPTZ= 2,4,6 tripyridil-s-triazin) oldatot képezve színes terméket adnak (ferro-tripyridil triazin).

Az  $\text{Fe}^{2+}$ -TPTZ vegyület intenzív kék színének köszönhetően fotometriásan mérhető, 593 nm-en.



##### Szükséges oldatok

1. Acetát puffer: pH 3,6 (1,55 g Na-acetát + 8 ml ecetsav 0,5 l vízben)

2. 20 mM FeCl<sub>3</sub> x 6H<sub>2</sub>O
3. Triazin-oldat (TPTZ)

A FRAP reagens összetétele:

- 25 ml acetát-puffer
- 2,5 ml FeCl<sub>3</sub> -oldat
- 2,5 ml TPTZ-oldat

A mérőelegy összeállításához 900µl FRAP reagenst és 30µl felülúszót használtunk fel. 5 perces inkubáció után 593 nm-en detektáltuk a mintákat plate reader segítségével (Clariostar plus, BMG Labtech, Ortenberg, Németország).

#### **4.7 A szabad poliamin szintek vizsgálata HPLC segítségével**

A szabad poliaminok mennyiségét Szepesi és mtsai. (2009) által leírt meghatározás szerint végeztük. A növényi szöveteket 700 µl 5%-os perklórsavban homogenizáltuk 0 °C-on dörzsmozsárban. Vortexelés után a mintákat centrifugáltuk (4 °C, 20 perc, 13,523 RCF) Eppendorf 5424R centrifugával, ezt követően a felülúszó 500 µl-éhez 400 µl 2 M NaOH-t adtunk a pH optimalizálásához. A származékképzést 10 µl benzoil-kloriddal végeztük. A benzoil-poliaminokat dietil-éterrel extraháltuk, majd a szerves fázist szárazra pároltuk. A szabad poliaminok származékainak detektálása HPLC-n történt (JASCO HPLC System, Japán). Reverz fázisú kolonnán (Apex octadecyl 5 µ; 250x4,6 mm), acetonitril:víz 45:55 (v:v) elegyével választottuk el, majd UV detektor segítségével 254 nm-en detektáltuk a csúcsokat, amelyeket Put, Spd és Spm standard minták segítségével azonosítottunk. A minták poliamin koncentrációit kalibrációs egyenes segítségével, a csúcs alatti területből számoltuk, majd a friss tömegre vonatkoztatva adtuk meg.

## **Felhasznált programok**

A növényi fejlődés ábrázolására a Biorender.com (Toronto, Kanada) programját használtuk. Az adatok statisztikai elemzése a GraphPad Prism programmal készült 8.0.1.244 Windows (GraphPad Software, La Jolla, CA, USA). Egy növényfajon belül, a fejlődési állapotok közötti különbségek szignifikanciájának megállapítására Student-féle T-próbát használtunk, ahol a statisztikailag jelentős eltéréseket \*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; \*\*\*\*  $P \leq 0,0001$  jelölésekkel ábrázoltuk.

## 5. Eredmények és értékelésük

### 5.1 A LED világításnak kitett növényfajok morfológiai és növekedési válaszai

Az egységes megvilágítás alatt fejlődő növények az elvárt ütemben fejlődtek. Annak érdekében, hogy elkülönítsük a mikrozöld és a baby leaf szakaszt, a növények fejlődésének 7. és 21. napján vettünk mintát. Ahogy az a 7. és a 8. ábrán jól látható, mindhárom növényfaj esetében nagymértékű növekedés volt tapasztalható, viszont ez nem volt azonos a fajok és a családok között.



**Brokkoli**  
(*Brassica oleracea* var. *italica*)



**Saláta**  
(*Lactuca sativa*)



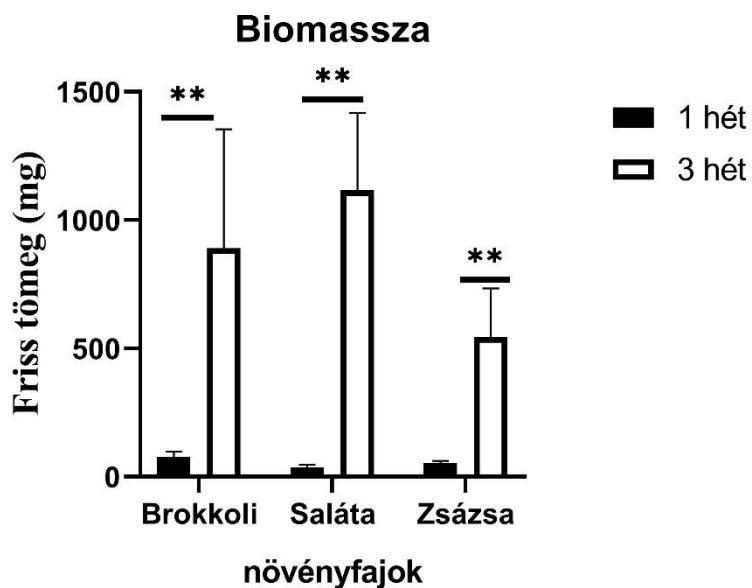
**Zsázsa**  
(*Lepidium sativum*)

7. ábra: A korai mikrozöld növények szemléltető ábrája a 7. napon (1 hét).



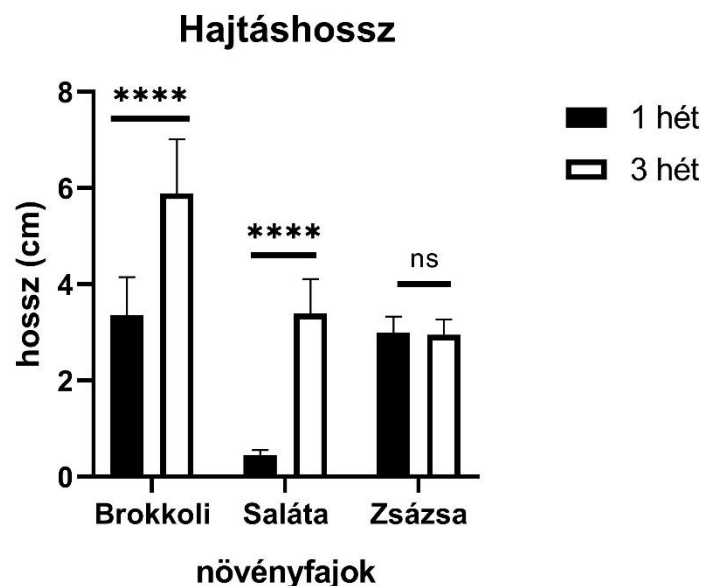
8. ábra: A „baby leaf”(?) stádiumú, 3 hetes növények szemléltető ábrája a 21. napon.

A biomassza növekedést megfigyelve elmondhatjuk, hogy a saláta növekedett legnagyobb mértékben, míg a zsázsa legkevésbé, ami a növény morfológiájának is köszönhető (9. ábra).



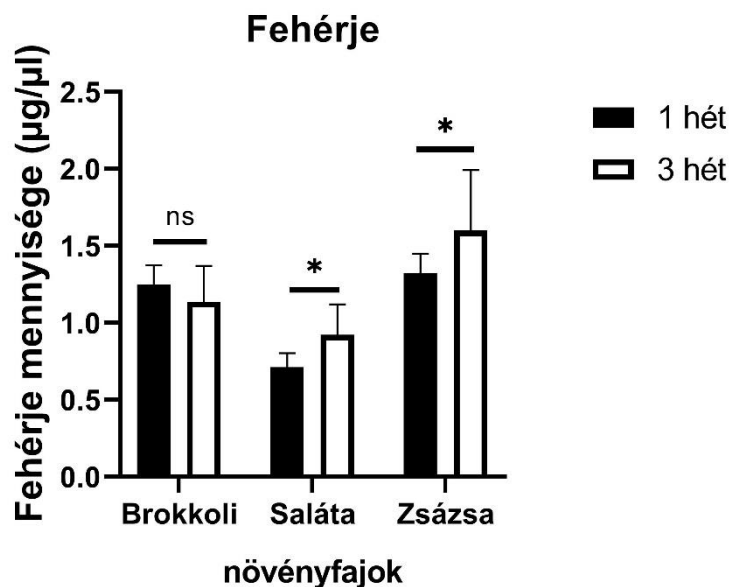
9. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) biomassza változása a korai mikroöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag $\pm$ SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják ( \*\*  $P \leq 0,01$  ).

A saláta az első hétig nem mutatott nagymértékű hajtáshossz növekedést, viszont ehhez képest az 1. hét végére a legnagyobb arányú növekedési tendencia volt megfigyelhető (10. ábra). A zsázsa hajtáshosszában nem történt változás, ami a bokrosodásnak köszönhető, ezzel szemben a 3. hétre brokkoli és a saláta esetében volt a legnagyobb arányú a növekedés (10. ábra).



10. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) hajtáshosszainak változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag $\pm$ SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*\*\*\*  $P \leq 0,000$ , ns=nem szignifikáns).

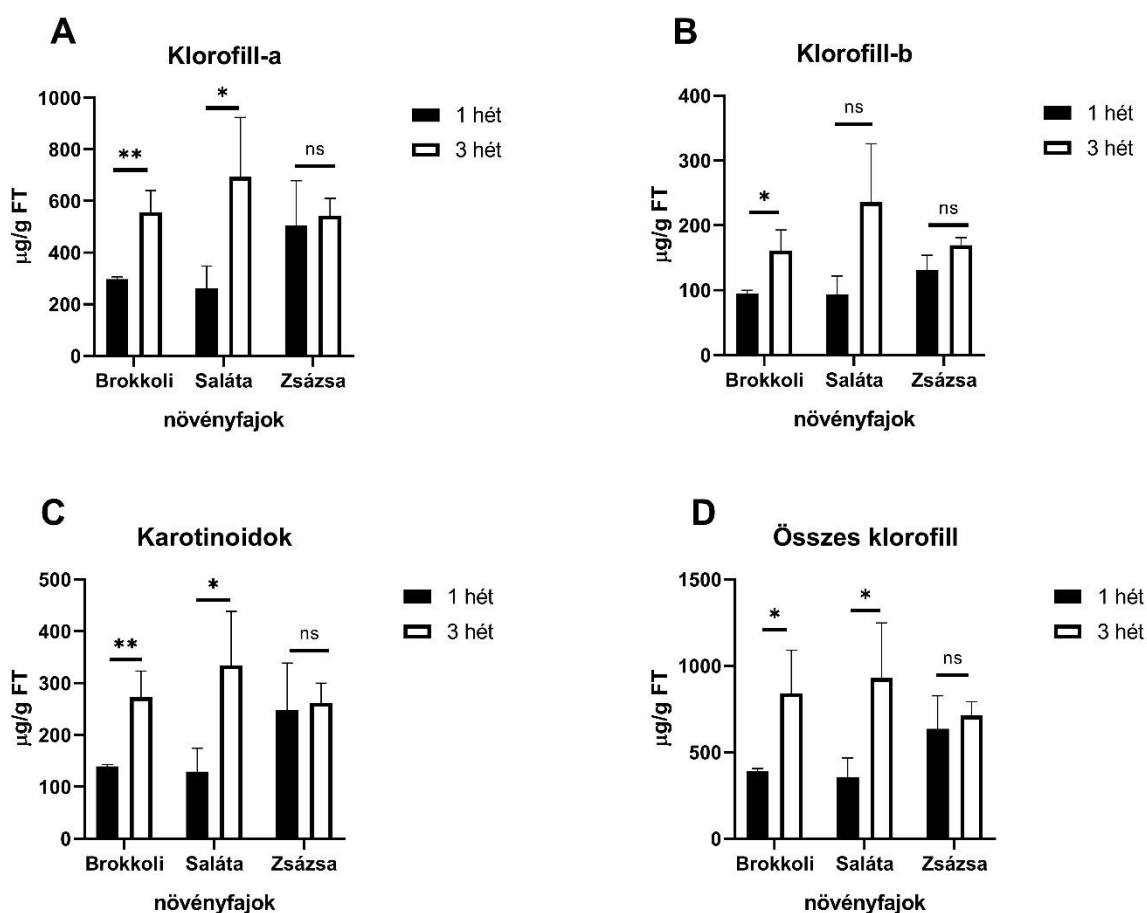
A fehérjetartalmakat megvizsgálva elmondható, hogy a zsázsa és a saláta mutat tendenciájában emelkedést. A brokkoliban szignifikáns eltérés nem látható (11. ábra).



11. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) fehérje tartalmának változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag $\pm$ SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*  $P \leq 0,05$ ; ns= nem szignifikáns).

## 5.2 A LED világításnak kitett növényfajok fotoszintetikus pigment tartalmainak változása

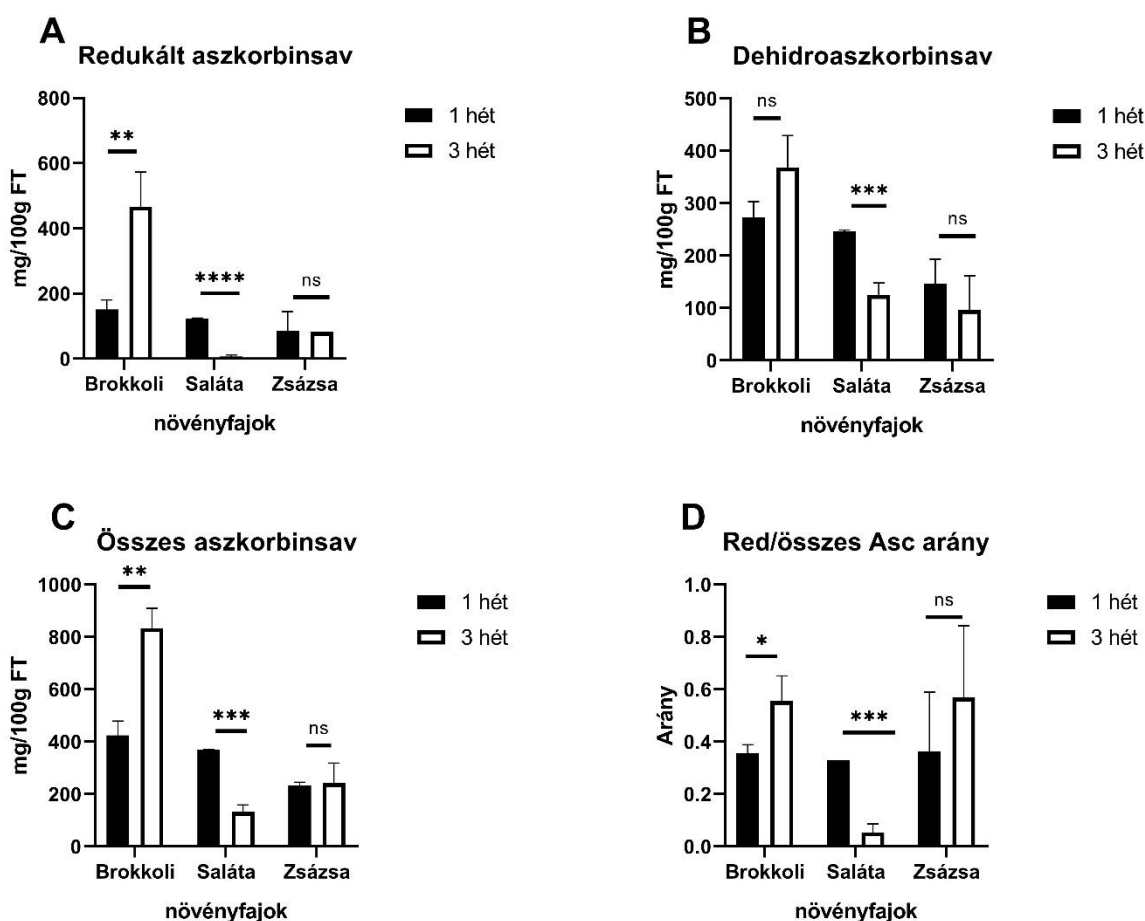
A növényi pigmentek változásai mutathatják a jól működő fotoszintézist, valamint jó markerei lehetnek az esetleges stresszhatásoknak (Lichtenthaler, 1987). A brokkoli minden vizsgált paraméterben szignifikáns növekedést mutatott a harmadik hétre. A saláta kismértékű növekedést mutatott a klorofill-a, a karotinoidok, és az összes klorofill esetében (12. ábra).



12. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) pigment tartalmainak változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag±SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; ns= nem szignifikáns).

### 5.3 A LED világításnak kitett növényfajok aszkorbinsav tartalmának változásai

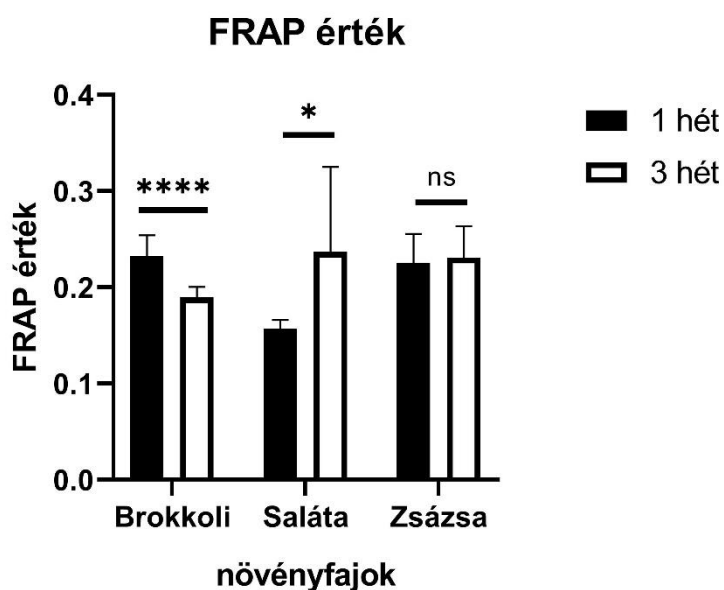
A C-vitamin, vagy más néven aszkorbinsav az egyik olyan fitonutriens a levélzölkségekben, amely miatt keresett és egészséges funkcionális élelmiszerként szolgálhatnak (Smirnoff és Wheeler, 2000). A három növényfajt megvizsgálva a legmagasabb aszkorbinsav értékeket a brokkoli esetében mértük, mind az 1 hét, mind a 3 hetes fejlődési stádiumban (13. ábra). A saláta több aszkorbinsavat mutatott az 1 hetes korában, viszont a 3. hétre ennek a fajnak volt legkisebb az aszkorbinsav tartalma a redukált formát és a dehidroaszkorbinsavat megvizsgálva. A kerti zsázsa nem mutatott fejlődésfüggő eltérést az alacsony aszkorbinsav tartalmában (13. ábra). Megjegyzendő, hogy a brokkoli esetében az aszkorbinsav tartalom redukáltsági foka a fejlődés előrehaladtával növekedést mutatott.



13. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) aszkorbinsav tartalmának változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag±SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*  $P \leq 0,05$ ; \*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*  $P \leq 0,001$ ; \*\*\*\*  $P \leq 0,000$ , ns = nem szignifikáns).

## 5.4 A LED világításnak kitett növényfajok összantioxidáns kapacitásának változásai

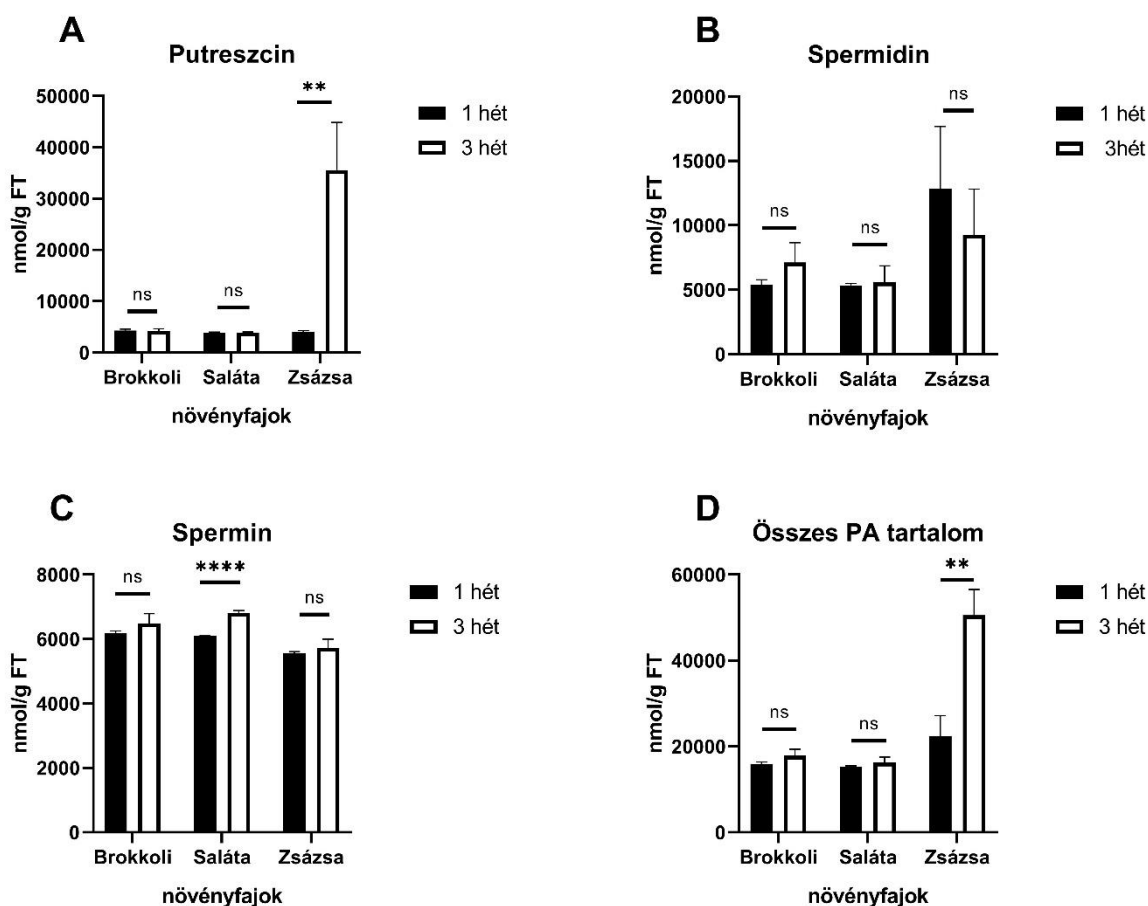
Ezt követően felmerült, hogy vizsgáljuk meg a növények összantioxidáns kapacitását, amelyet a FRAP módszer segítségével fotometriásan határoztunk meg. A csökkent aszkorbinsav értékekkel az összantioxidáns értékek ellentétesen alakultak: a brokkoliban csökkent a 3. hétre, míg a salátában emelkedés látható. Ennek oka lehet a növényekben található egyéb vízdoldékony (glutathion), és zsírdoldékony (E-vitamin) anyagok lehetséges magas koncentrációja (14. ábra).



14. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) FRAP értékeinek változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag $\pm$ SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*  $P \leq 0,05$ ; \*\*\*\*  $P \leq 0,000$ , ns= nem szignifikáns).

## 5.5 A LED világításnak kitett növényfajok szabad poliamin tartalmainak változásai

A szabad poliamin tartalmak közül a diamin putreszcint megvizsgálva a zsázsa mutatta az ugrásszerű növekedést a harmadik hétre (15. ábra), aminek háttérében a növényben található magas fehérje tartalom állhat (11. ábra). A spermin szinteket megvizsgálva a saláta mutatta a legnagyobb emelkedést. Míg a spermidin esetében nagy változás nem volt detektálható a brokkoli és a saláta esetében, addig a spermin szinteket megvizsgálva a zsázsa mutatta a legalacsonyabb értékeket. Az összes poliaminoknál is a zsázsa mutatta a legnagyobb értékeket (15. ábra).



15. ábra: A három vizsgált növényfaj (brokkoli, saláta és zsázsa) szabad poliamin tartalmainak változása a korai mikrozöld (1 hét) és a baby leaf (3 hét) stádiumban. Átlag $\pm$ SD, az oszlopok feletti csillagok a szignifikáns eltéréseket mutatják (\*\*  $P \leq 0,01$ ; \*\*\*\*  $P \leq 0,0001$ , ns= nem szignifikáns).

## 6. Diszkusszió

A beltéri termesztésben előállított és mikrozöldnek tartott növények fejlődésbeli összehasonlításáról a szakirodalomban kevés és egymásnak olykor ellentmondó információ áll rendelkezésre. Munkám során célul tűztem ki, hogy két növénycsaládból származó, három különböző növényfaj fejlődését vizsgálom.

A mikrozöld és a „baby leaf” fejlődési szakaszok elkülönítése érdekében a szakirodalomban említett két szélső időpontban, az első (Xiao, és mtsai, 2012), illetve a harmadik (Bhaswant és mtsai, 2019) hét végén (7. és 21. nap) végeztem a fejlődési paraméterek (pigmenttartalom, fehérjetartalom, C-vitamin, poliaminok) összehasonlító vizsgálatát. A 7. és 21. napon mért hajtáshosszok mindhárom növényfaj esetében megegyeztek a szakirodalomban leírt paraméterekkel (Xiao és mtsai, 2012), amik alapján a növények feltételezhetően az elvárt ütemben fejlődtek. Az aszkorbinsav a leggyakrabban vizsgált marker a mikrozöld növények esetében. A saláta esetében az egy hetes növényekben magas aszkorbinsavtartalmat mutattunk ki, amit Martínez-Ispizua és munkatársai (2022) is megállapítottak a mikrozöld stádiumú salátáknál. Ezzel szemben a három hetes korukban vizsgált növényeknél visszaesés következett be az aszkorbinsav tartalmakban, ami arra enged következtetni, hogy ezek a növények már a „baby leaf” fejlődési stádiumhoz tartozhatnak. A brokkoli esetében mért aszkorbinsav értékek voltak a legmagasabbak a vizsgált növényfajok közül, amit Marchioni és munkatársai (2021) szintén kimutattak. A mikrozöld fejlődési stádiumú kerti zsázsáról nem áll rendelkezésre megfelelő szakirodalom, viszont a nálunk mért magas fehérjetartalmakat alátámasztja egy kifejlett zsázsával végzett kutatás, amiben szintén a zsázsa magas fehérjetartalmát igazolták (Martínez-Ispizuza és mtsai, 2022). A vizsgált időpontokban a szabad poliamin tartalmak is változásokat mutattak mindhárom növényfajnál: a zsázsánál mért szignifikánsan magas putreszcin tartalom összefüggésben állhat az

alapvetően magas fehérjetartalommal, de ennek igazolása további vizsgálatokat igényel, mivel a szakirodalomban még nem áll rendelkezésre információ. A brokkoli és a saláta a 3. hétre nem mutatott jelentős eltérést a poliamin szintekben.

Összegzőképpen megállapítható, hogy az általunk vizsgált növényfajoknál bekövetkezett eltérések miatt az aszkorbinsav és a szabad poliaminok lehetnek alkalmasak a különböző fejlődési stádiumok elkülönítésére a jövőben.

A jelen tanulmányhoz képest további növényfajok bevonása szükséges, hogy a mikrozöld és „baby leaf” fejlődési szakasz pontosan elkülöníthető legyen. A további vizsgálatok során pontosan figyelembe kell venni a termesztésükhöz ideális nevelési körülményeiket. A jövőbeli kutatások eredményei nagyban segíthetik a fejlődési fázisok pontos elkülönítése révén az emelt tápanyag tartalmú mikrozöldek előállítását fenntartható módon, hozzájárulva a minőségi éhezés csökkentéséhez és az élelmiszerbiztonsághoz.

## 7. Irodalomjegyzék

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, **239**(1), 70–76. <https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292>

Bhaswant, M., Shanmugam, D. K., Miyazawa, T., Abe, C., & Miyazawa, T. (2023). Microgreens—A comprehensive review of bioactive molecules and health benefits. *Molecules*, **28**(2), 867. <https://doi.org/10.3390/molecules28020867>

Blair, M. (2016). Diabetes mellitus review. *Urologic nursing*, **36**(1). 10.7257/1053-816X.2016.36.1.27

Cena, H., & Calder, P. C. (2020). Defining a healthy diet: evidence for the role of contemporary dietary patterns in health and disease. *Nutrients*, **12**(2), 334.

Chen, Y., Michalak, M., & Agellon, L. B. (2018). Focus: Nutrition and food science: Importance of nutrients and nutrient metabolism on human health. *The Yale journal of biology and medicine*, **91**(2), 95.

Choe, Uyory, Liangli Lucy Yu, and Thomas TY Wang. "The science behind microgreens as an exciting new food for the 21st century." *Journal of agricultural and food chemistry* **66**.44 (2018): 11519-11530. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03096>

D'angelo, S., Martino, E., Ilisso, C. P., Bagarolo, M. L., Porcelli, M., & Cacciapuoti, G. (2017). Pro-oxidant and pro-apoptotic activity of polyphenol extract from Annurca apple and its underlying mechanisms in human breast cancer cells. *International journal of oncology*, **51**(3), 939-948. <https://doi.org/10.3892/ijo.2017.4088>

de la Fuente, B., López-García, G., Máñez, V., Alegría, A., Barberá, R., & Cilla, A. (2020). Antiproliferative effect of bioaccessible fractions of four Brassicaceae microgreens on human colon cancer cells linked to their phytochemical composition. *Antioxidants*, **9**(5), 368. <https://doi.org/10.3390/antiox9050368>

Di Gioia, F., De Bellis, P., Mininni, C., Santamaria, P., & Serio, F. (2017). Physicochemical, agronomical and microbiological evaluation of alternative growing media for the production of rapini (*Brassica rapa* L.) microgreens. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, **97**(4), 1212-1219. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7852>

Di Gioia, F., Renna, M., & Santamaria, P. (2017). Sprouts, microgreens and “baby leaf” vegetables. *Minimally processed refrigerated fruits and vegetables*, **403-432**. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6\\_11](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6_11)

do Carmo, M. A. V., Pressete, C. G., Marques, M. J., Granato, D., & Azevedo, L. (2018). Polyphenols as potential antiproliferative agents: Scientific trends. *Current Opinion in Food Science*, **24**, 26-35. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.10.013>

ENSZ bécsi információs szolgálat oldala, keresés: 2024.04.16.  
[https://unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable\\_development\\_goals.html](https://unis.unvienna.org/unis/hu/topics/sustainable_development_goals.html)

Haslund-Gourley, B., Para, C., Rachuri, S., Enders, S., Marshall, R., Mishra, V., ... & Gadegbeku, A. (2022). Microgreens grow kit: a novel pilot study to improve nutrition awareness. *Transformative Medicine (T-Med)*, **1(1)**, 2-11. <https://doi.org/10.54299/tmed/ngfk2366>

Hassan, L. G., Hassan, S. W., Hashim, T., Umar, K. J., & Sani, N. A. (2011). Determination of nutritive values of garden cress (*Lepidium Sativum* L.) leaves. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, **4(2)**, 18-23. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v4i2.4>

Herrmann, T. M., Loring, P. A., Fleming, T., Thompson, S., Lamalice, A., Macé, M., ... & Blangy, S. (2020). Community-led initiatives as innovative responses: shaping the future of food security and food sovereignty in Canada. In *Food Security in the High North* (pp. 249-280). Routledge.

Hotamisligil, G. S. (2006). Inflammation and metabolic disorders. *Nature*, **444(7121)**, 860-867. <https://doi.org/10.1038/nature05485>

Hummerick, M. E., Khodadad, C. L., Dixit, A. R., Spencer, L. E., Maldonado-Vasquez, G. J., Gooden, J. L., ... & Zhang, Y. (2021). Spatial characterization of microbial communities on multi-species leafy greens grown simultaneously in the vegetable production systems on the international space station. *Life*, **11(10)**, 1060. <https://doi.org/10.3390/life11101060>

Johnson, C. M., Boles, H. O., Spencer, L. E., Poulet, L., Romeyn, M., Bunchek, J. M., ... & Wheeler, R. M. (2021). Supplemental food production with plants: a review of NASA research. *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*, **8**, 734343. <https://doi.org/10.3389/fspas.2021.734343>

Kathi, S., Laza, H., Singh, S., Thompson, L., Li, W., & Simpson, C. (2023). Vitamin C biofortification of broccoli microgreens and resulting effects on nutrient composition. *Frontiers in Plant Science*, **14**, 1145992. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1145992>

Kyriacou, M. C., De Pascale, S., Kyratzis, A., & Rouphael, Y. (2017). Microgreens as a component of space life support systems: A cornucopia of functional food. *Frontiers in plant science*, **8**, 294717. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01587>

Kyriacou, M. C., Rouphael, Y., Di Gioia, F., Kyratzis, A., Serio, F., Renna, M., ... & Santamaria, P. (2016). Micro-scale vegetable production and the rise of microgreens. *Trends in food science & technology*, **57**, 103-115. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.09.005>

León-González, A. J., Auger, C., & Schini-Kerth, V. B. (2015). Pro-oxidant activity of polyphenols and its implication on cancer chemoprevention and chemotherapy. *Biochemical pharmacology*, **98(3)**, 371-380. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2015.07.017>

Li, H., Xia, Y., Liu, H. Y., Guo, H., He, X. Q., Liu, Y., ... & Gan, R. Y. (2022). Nutritional values, beneficial effects, and food applications of broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*

Plenck). *Trends in Food Science & Technology*, **119**, 288-308. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.015>

Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. In *Methods in enzymology* (Vol. **148**, pp. 350-382). Academic Press.

Ma, S., Tian, S., Sun, J., Pang, X., Hu, Q., Li, X., & Lu, Y. (2022). Broccoli microgreens have hypoglycemic effect by improving blood lipid and inflammatory factors while modulating gut microbiota in mice with type 2 diabetes. *Journal of Food Biochemistry*, **46**(7), e14145. <https://doi.org/10.1111/jfbc.14145>

Martínez-Ispizua, E., Calatayud, Á., Marsal, J. I., Cannata, C., Basile, F., Abdelkhalik, A., ... & Martínez-Cuenca, M. R. (2022). The nutritional quality potential of microgreens, baby leaves, and adult lettuce: An underexploited nutraceutical source. *Foods*, **11**(3), 423. <https://doi.org/10.3390/foods11030423>

Robertfroid, M. B. (1999). What is beneficial for health? The concept of functional food. *Food and Chemical Toxicology*, **37**(9-10), 1039-1040. [10.1016/s0278-6915\(99\)00080-0](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(99)00080-0)

Minich, D. M. (2019). A review of the science of colorful, plant-based food and practical strategies for “eating the rainbow”. *Journal of Nutrition and Metabolism*, **2019**. <https://doi.org/10.1155/2019/2125070>

Mir, Shabir Ahmad, Manzoor Ahmad Shah, and Mohammad Maqbool Mir. "Microgreens: Production, shelf life, and bioactive components." *Critical reviews in food science and nutrition* **57.12** (2017): 2730-2736. <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1144557>

Painuli, S., Quispe, C., Herrera-Bravo, J., Semwal, P., Martorell, M., Almarhoon, Z. M., ... & Cho, W. C. (2022). Nutraceutical profiling, bioactive composition, and biological applications of *Lepidium sativum* L. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, **2022**. <https://doi.org/10.1155/2022/2910411>

Pálfi, P.; Bakacsy, L.; Kovács, H.; Szepesi, Á. Hypusination, a Metabolic Posttranslational Modification of eIF5A in Plants during Development and Environmental Stress Responses. *Plants* **2021**, *10*, 1261. <https://doi.org/10.3390/plants10071261>

Paz, M., Fisher, P. R., & Gómez, C. (2019). Minimum light requirements for indoor gardening of lettuce. *Urban agriculture & regional food systems*, **4**(1), 1-10. <https://doi.org/10.2134/urbanag2019.03.0001>

Pinto, E., Almeida, A. A., Aguiar, A. A., & Ferreira, I. M. (2015). Comparison between the mineral profile and nitrate content of microgreens and mature lettuces. *Journal of Food Composition and Analysis*, **37**, 38-43. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2014.06.018>

Poorva, and Aggarwal, P. (2013). Microgreens in the food world. *Indian Food Ind.* **32**:18–24.

Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., Patil, P. D., & Patel, B. N. (2014). *Lepidium sativum* Linn.: A current addition to the family of mucilage and its applications. *International*

Ramos-Molina B, Queipo-Ortuño MI, Lambertos A, Tinahones FJ and Peñafiel R (2019) Dietary and Gut Microbiota Polyamines in Obesity- and Age-Related Diseases. *Front. Nutr.* **6:24**. doi: 10.3389/fnut.2019.00024

Riggio, G. M., Wang, Q., Kniel, K. E., & Gibson, K. E. (2019). Microgreens—A review of food safety considerations along the farm to fork continuum. *International journal of food microbiology*, **290**, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.09.027>

Smirnoff, N., & Wheeler, G. L. (2000). Ascorbic acid in plants: biosynthesis and function. *Critical reviews in biochemistry and molecular biology*, **35(4)**, 291–314. <https://doi.org/10.1080/10409230008984166>

Specht, K., Siebert, R., Hartmann, I., Freisinger, U. B., Sawicka, M., Werner, A., ... & Dierich, A. (2014). Urban agriculture of the future: an overview of sustainability aspects of food production in and on buildings. *Agriculture and human values*, **31**, 33-51. <https://doi.org/10.1007/s10460-013-9448-4>

Szepesi, Á. (2023) Alternative Production Systems (“Roof-Top,” Vertical, Hydroponic, and Aeroponic Farming). Szerk. Majeti Narasimha Vara Prasad, Chitranjan Kumar: *Agroecological Approaches for Sustainable Soil Management*. <https://doi.org/10.1002/9781119911999.ch11>

Szepesi, Á.; Bakacsy, L.; Kovács, H.; Szilágyi, Á.; Köhler, Z.M. Inhibiting Copper Amine Oxidase Using L-Aminoguanidine Induces Cultivar and Age-Dependent Alterations of Polyamine Catabolism in Tomato Seedlings. *Agriculture* 2022, **12**, 274. <https://doi.org/10.3390/agriculture12020274>

Szepesi, Á.; Csiszár, J.; Gémes, K.; Horváth, E.; Horváth, F.; Simon, M.L.; Tari, I. Salicylic acid improves acclimation to salt stress by stimulating abscisic aldehyde oxidase activity and abscisic acid accumulation, and increases Na<sup>+</sup> content in leaves without toxicity symptoms in *Solanum lycopersicum* L. *J. Plant Physiol.* **2009**, **166**, 914–925. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2008.11.012>

Teng, J., Liao, P., & Wang, M. (2021). The role of emerging micro-scale vegetables in human diet and health benefits—An updated review based on microgreens. *Food & function*, **12(5)**, 1914-1932.

Teng, Z., Luo, Y., Pearlstein, D. J., Wheeler, R. M., Johnson, C. M., Wang, Q., & Fonseca, J. M. (2023). Microgreens for home, commercial, and space farming: a comprehensive update of the most recent developments. *Annual Review of Food Science and Technology*, **14**, 539-562. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-060721-024636>

Thuong, V. T., & Minh, H. G. (2020). Effects of growing substrates and seed density on yield and quality of radish (*Raphanus sativus*) microgreens. *Research on Crops*, **21(3)**, 579-586. <http://dx.doi.org/10.31830/2348-7542.2020.091>

Weber, C. F. (2017). Broccoli microgreens: A mineral-rich crop that can diversify food systems. *Frontiers in nutrition*, **4**, 7. <https://doi.org/10.3389/fnut.2017.00007>

Xiao, Z., Lester, G. E., Luo, Y., & Wang, Q. (2012). Assessment of vitamin and carotenoid concentrations of emerging food products: edible microgreens. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, **60(31)**, 7644-7651. <https://doi.org/10.1021/jf300459b>

Zhang, Y., Xiao, Z., Ager, E., Kong, L., & Tan, L. (2021). Nutritional quality and health benefits of microgreens, a crop of modern agriculture. *Journal of Future Foods*, **1(1)**, 58-66. <https://doi.org/10.1016/j.jfutfo.2021.07.001>

## **8. Köszönetnyilvánítás**

Szeretném köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, Dr. Szepesi Ágnes egyetemi adjunktusnak, hogy lehetőséget biztosított a kutatásom megvalósításához, és mindvégig bármikor bizalommal fordulhattam felé, amikor támogatásra volt szükségem.

Köszönöm a kísérletek kivitelezéséhez Pálfi Péter PhD hallgató, illetve Kovács Henrietta PhD hallgató segítségét, valamint a laborvizsgálatokhoz kapott segítséget Porkoláb Erzsébetnek és Dóri Erikának.

A munka pénzügyi háttérét a NKFIH FK129061 kutatási pályázata és a GINOP\_PLUSZ-2.1.1-21-2022-00080 azonosító számú „NÖVÉNYEK EXTRA TÁPANYAG ELLÁTÁSÁT SZOLGÁLÓ RENDSZER KUTATÁS FEJLESZTÉSE című pályázat biztosította.