

**Mikrozöldek beltartalmi értékei, egyéb minőségi mutatói,
és a különböző LED-es fényreceptek
lehetséges szerepe a vertikális termesztésben**

BUDAVÁRI NOÉMI¹, PÉK ZOLTÁN¹, HELYES LAJOS¹, TAKÁCS SÁNDOR¹,
GICHABA MAKINI VINCENT¹, NEMESKÉRI ESZTER¹

¹Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, Gödöllő

E-mail: budavari.noemi@phd.uni-mate.hu

Összefoglalás

Becslések szerint a Föld népessége 2050-re el fogja érni a 9,7 milliárd főt. A terjeszkedő városiasodás hatására a nagyobb lélekszámú települések számára elengedhetetlenné fog válni a saját, fenntartható élelmiszer megtermelése. Mi történik azonban, ha a vízszintes terjeszkedés már nem lehetséges? Erre a kihívásra adhatnak ígéretes, modern választ a vertikális farmok, melyek az üvegházi termesztés tovább gondolásából születtek. Mivel a függőleges tér kihasználására törekszenek, jellemző rájuk a helytakarékoság és hogy bennük valamennyi, a növények fejlődését befolyásoló környezeti tényező teljes mértékben szabályozható. A vertikális farmokban kis területen kiváló minőségű, magas tápértékű növényi termékek állíthatók elő minimális vízfelhasználással, energiahatékony LED-es fényforrások segítségével. A mikrozöldek (microgreens) a zöldségtermesztés új piaci kategóriáját képviselik. Érzékeny kultúrák lévén termesztésük legkritikusabb kihívása a környezeti tényezők helyes megválasztása, úgy, mint a tápoldat összetétele, a megvilágítás intenzitása és a fényspektrum összetétele, mivel ezek befolyásolják a fotoszintézist, a növények növekedését és a termés hozamot. Ez az áttekintés a vertikális gazdálkodás keretein belül különféle termesztési módszereket tár fel, többek között a hidropóniás, mélyvízkultúrás növénytermesztést, emellett megvizsgálja a LED-megvilágítás hatását néhány zöldség faj élettani tulajdonságaira, növekedésére, beltartalmi tulajdonságaira, de a potenciálisan termesztethető fajok sokszínűségének köszönhetően további kutatások szükségesek a fajok és fajták válaszreakciójának és az igényeiknek megfelelő optimális fényspektrum meghatározásához.

Kulcsszavak: mikrozöldek, vertikális farm, LED megvilágítás, beltartalom

Nutrient values and other quality indicators of microgreens, and the possible role of different LED light recipes in vertical cultivation

BUDAVÁRI, N.¹, PÉK, Z.¹, HELYES, L., TAKÁCS, S.¹, GICHABA MAKINI, V.¹,
NEMESKÉRI, E.¹

¹Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Szent István Campus, Department of
Vegetable and Mushroom Growing

Summary

According to estimates, the world's population will reach 9,7 billion people by 2050, so as a result of that, expanding populations will be forcing cities to produce their own sustainable food. However, what happens when horizontal expansion is no longer possible? Vertical farms, born from the further development of greenhouse cultivation, can provide a promising answer to this challenge. They strive to utilize vertical space; they are space efficient and all environmental factors affecting plant development can be fully controlled in them. In vertical farms, high-quality, highly nutritious plant products can be produced in a small area with minimal water consumption and with the help of energy-efficient LED light sources. Microgreens represent a new market category of vegetable growing. Being sensitive cultures, the most critical challenge in their cultivation is the correct choice of environmental factors, such as the composition of the nutrient solution, the intensity of illumination and the composition of the light spectrum, as these affect photosynthesis, plant growth and yield. This review explores various cultivation methods within the framework of vertical farming, including hydroponics and deep water culture, and also examines the effect of LED lighting on the physiological characteristics, growth and nutritional properties of some vegetable plant species, but due to the diversity of species that can be cultivated, further research is needed to determine the optimal light spectrum for the response and needs of species and varieties.

Keywords: microgreens, vertical farm, LED lighting, nutritional content

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Becslések szerint a világ népessége 2050-re elérheti a 9,7 milliárd főt, és a lakosság mintegy 80%-ának a városok fognak otthont adni (Kumar et al. 2021). A növekvő lakosság élelmezéséhez fenntartható és helyben előállítható, egészséges élelmiszerre van szükség. Az effajta élelmiszer előállítása megköveteli a fenntarthatóság minden szempontjának figyelembevételét, legyen az környezeti, társadalmi, vagy gazdasági tényező (Kalantari et al. 2018). A megművelhető mezőgazdasági területek száma mind minőségileg, mind mennyiségileg csökkenő tendenciát mutat világszerte, ez a probléma különösen a városokat érinti. A probléma több forrásból eredhet, mint például a városiasodás, különböző természeti katasztrófák és a globális felmelegedés. Emberi tényezőként meg kell említeni az okszerűtlen talajművelést és a növényvédő szerek esetleges ellenőrizetlen és nem rendeltetésszerű használatát, mivel ezek erősen befolyásolják a talaj termőképességét és ezáltal a biztonságos és minőségi élelmiszerek előállítását (Lakhia et al. 2024). Az egyik legígéretesebb kertészeti termesztéstechnológia a talaj nélküli gazdálkodás. Hatékony stratégiát kínál kiemelkedő minőségű növényi élelmiszer előállítására, valamint magas terméshozamú növényállományok létrehozására, ezzel választ adva a mezőgazdaság jelenlegi kihívásaira és hozzájárulva az élelmiszerhiány csökkentéséhez (Lakhia et al. 2020). A zárt rendszerű, talaj nélküli termesztés biztosítja az egész éves biztonságos termelést mivel az éghajlat nem befolyásoló tényező, a vízfogyasztás és a tápanyag-utánpótlás ellenőrzött, peszticidek használata pedig nem jellemző, így növényvédőszer-maradék mentes élelmiszer állítható elő. A hidropóniát, mint talaj nélküli termesztési rendszert széles körben használják modern termelésben különösképpen városi kertészetben. A talaj nélküli rendszerek sikeres adaptálására számos példa született. Tokióban, ahol a népesség növekedése miatt a művelhető földterület rendkívül értékesé vált, talaj nélküli hidropónikus rendszereket használnak rizs termesztésére (Feltman 2013). A hidropónikát a Közel-Kelet száraz éghajlatán is sikerrel alkalmazzák. A közel-keleti régiót nagy népsűrűség, korlátozott rendelkezésre álló szántóterület, szélsőséges időjárási viszonyok, valamint a súlyos vízhiány miatt számos, növénytermesztésre alkalmatlan terület jellemzi, így a hidropónika megoldást nyújthat a biztonságos növénytermesztéshez (Malabadi et al. 2024). A vertikális farmok koncepciója új nézőpontból kínál megoldást a fenntarthatóság kihívásaira és a növekvő élelmiszerigény kielégítésére, mivel alternatívát nyújthat a megfelelő mennyiségű és minőségű növényi alapú élelmiszer előállítására. A vertikális farmok egyik legfőbb előnye abban rejlik, hogy mikroözledek formájában egy egységnyi területről magasabb tápanyagtartalmú termés takarítható be a hagyományos műveléshez képest, ahonnan ezzel szemben kifejlett növények kerülnek betakarításra. Korábbi kísérletek bebizonyították, hogy a mikroözledekben számos bioaktív vegyület – így például az aszkorbinsav, a filokinonok, az α - tokoferol, a β -karotin, a fenolos antioxidánsok, a karotinoidok, az antocianinok, a glükozinolatok, valamint a cukrok – koncentrációja jellemzően magasabb, mint az ugyanazon fajok technológiai érettséget elért növényeiben (Bhaswant et al. 2023). A vertikális termesztés a növények függőlegesen egymásra helyezett, polcrendszerű termesztésének a gyakorlata. Magába foglalja a környezeti tényezők szigorú szabályozását és folyamatos monitorozását, ennek célja a növények növekedésének optimalizálása és a termesztési idő lerövidítése (van Delden et al. 2021). Az egészséges és tudatos táplálkozás egyik alapköve a bioaktív anyagokban és vitaminokban gazdag növényi termékek fogyasztása, amelyek

egyre nagyobb teret nyernek az utóbbi időben. Az élelmiszeripari termékfejlesztés egyik új iránya a friss, növényi alapú, élelmiszerek előállítását célozza meg. A mikroözledek koncepciója az 1980-as években alakult ki San Francisco-ban, Kaliforniában és mint újszerű, különleges kulináris elem hamar elismerést szerzett a világ legjobb éttermeiben és előkelő élelmiszerüzleteiben (Bliss 2014). A mikroözledek új piaci fogalomként kerültek be a köztudatba, napjainkra egyre népszerűbbé válnak a beltéri kertészetben is. A sokszínűségük és apró termetük miatt gyakran „zöldségkonfettinek” is nevezett mikroözledek fiatal, zsenge növények, amelyeket főként arra használnak, hogy fokozzák a saláták színét, textúráját vagy ízét, illetve díszítsék a legkülönbözőbb ételeket (Treadwell et al. 2010). A vendéglátás alapelvei között gyakran hangsúlyozzák, hogy az étel minősége és élvezeti értéke nem csupán az ízlelésen múlik. A vendég először vizuálisan találkozik az étellel, figyelmet szentelve a tányéron kialakított kompozíciónak és harmóniának, ebből adódóan a mikroözledek esztétikai és díszítőértéke kiemelkedően fontos szerepet kap. A pár héttel csírázás után betakarított fiatal, fejletlen zöld növények nagy mennyiségű bioaktív összetevőt tartalmaznak (Michell et al. 2020). Fenológiai fiatal gyökérzetből, szárból, (egy pár sziklevelel) és egy pár valódi levélből állnak. Rövid növekedési ciklusuk és sekély gyökérzetük alkalmassá teszi őket hidropóniás termesztésre. Betakarításuk általában az első pár valódi levél megjelenésekor történik, ez a vetéstől számított 1-3. héten történik meg növényfajtól, fajtától és annak termesztési körülményeitől függően. Termesztésük során nagy gondot kell fordítani arra, hogy a fény, a hőmérséklet, a vízellátás, a páratartalom, a pH, a CO₂ szint és a tápoldat minősége megfelelően a növények igényeinek (Guffanti et al. 2022). A kutatók egyetértenek abban, hogy a szabályozott beltéri termesztőberendezésekben a világítás kulcsszerepet játszik a mikroözledek fejlődésében (Boros et al. 2023), de a fajtáktól és a felhasználástól függően a megvilágítás módja, a hullámhossz aránya és kombinációja különböző morfológiai, fitokémiai és fiziológiai hatásokat gyakorolhat a növényekre (Lee et al. 2016; Park és Runkle 2017).

Ebben a tanulmányban áttekintésre került az energiahatékony megvilágítás (LED) alkalmazása a mikroözledek termesztésben és békilevel saláta termesztésében, vertikális gazdálkodás rendszerben. A békilevel saláta élettani folyamatait és fejlődését befolyásoló megvilágítás és fényminőség alapján, az eddigi kutatások a jövőben hasznosíthatók-, és továbbfejleszthetők lehetnek a különböző fajták termesztésére vertikális farm rendszerben.

A vertikális farmok megvilágítási rendszerei

A termékbiztonság érdekében a vertikális gazdaságokban kizárólag mesterséges megvilágítást alkalmaznak, melyek a fénykibocsátás elve szerint három típusba sorolhatók: izzók, kisülő lámpák és elektrolumineszcens fényforrások. A világítástechnológia fejlődése az elmúlt évtizedben a lumineszcencia-alapú LED-es fényforrások (Light Emitting Diode) kifejlesztéséhez vezetett, amelyek energiahatékony világítást biztosítanak, emellett a növények növekedésének fenntartására is alkalmazhatók. A LED-ek különösen jelentősebb melegedés nélküli nagy hatékonyságuk, hosszú élettartamuk és a mesterséges megvilágítással működő üzemekben való változatos alkalmazási lehetőségeik miatt kerültek a figyelem középpontjába (Cocetta et al. 2017). A LED-eket úgy gyártják, hogy különböző keskeny hullámhosszú színeket bocsátanak ki, ami megkönnyíti a különböző színekből meghatározott spektrális kimenet létrehozását (Both et al. 2017). Egyes

vertikális farmokban különböző színű LED-eket (különböző relatív spektrális teljesítményeloszlással) használnak fényforrásként. A legelterjedtebb a kék LED ($\lambda_p \sim 460$ nm) és a piros LED ($\lambda_p \sim 660$ nm) kombinációja, itt λ_p a csúcs hullámhosszt (peak wavelength) jelöli. A kék, piros és távoli vörös LED-eket tartalmazó LED-modult Hollandiában már használnak salátapalánták kereskedelmi előállítására (Fujiwara 2020). Nakamura felfedezésének köszönhetően sikerült létrehozni egy széles spektrumú fehér LED-es fényforrást, amely új távlatokat nyitott a növények megvilágításában (Nakamura 2022; Nozue és Gomi 2018).

Pék és társai (2023) kimutatták, hogy 552 nm hullámhosszon, ami megegyezik a klorofill molekula fényelnyelésével, a fényvisszaverődés (reflektancia) alacsony (0,27-0,28) és nincs jelentős különbség a Blue-Red (457-470) a fehér LED (340-730) Fehér+FarRed LED (640-740) és Fehér+UV LED (360-400) megvilágítás között (1. ábra). Ezen a hullámhosszon bármelyik LED fényforrást alkalmazva a saláta levelében a relatív klorofill tartalom, SPAD értékkel kifejezve, nem változik (2. ábra). Ettől eltérően, 745 nm-en alkalmazva a különböző LED fényforrásokat, a saláta levél reflektanciája a legnagyobb a vörös/kék (RB) LED alatt és legkisebb Fehér+FarRed LED (640-740) megvilágítás alatt (1. ábra). A SPAD a relatív klorofill-tartalom mértékét fejezi ki, kimutatja a növény egészségügyi állapotában bekövetkezett finom változásokat, és roncsolásmentesen teszi lehetővé a növényben található klorofill-A szintjének meghatározását, így a fénykioltás intenzitása alapján következtethetünk a levelek klorofill-tartalmára (Gorliczay et al. 2024).

1. ábra Saláta levelének reflektanciája különböző LED fényforrás alatt. RB=vörös/kék, WL=fehér, WL+FR= fehér+ távolivörös, WL+UV= fehér+ ultraibolya
Forrás: Pék et al. 2023 nyomán

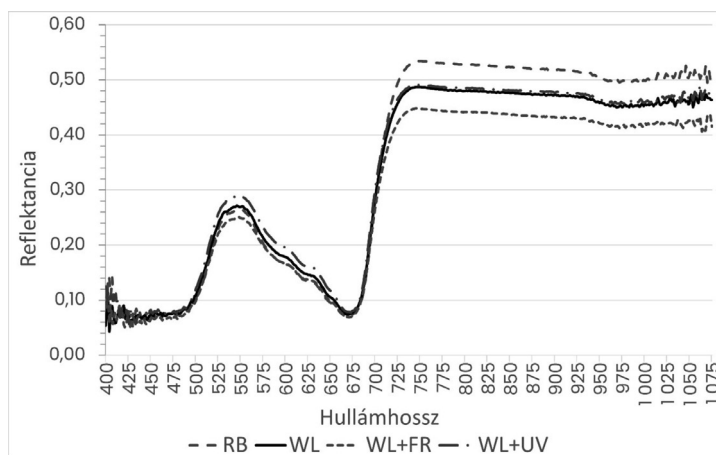


Figure 1. Reflectance of lettuce leaves under different LED light sources. RB=red/blue, WL=white, WL+FR=white+far-red, WL+UV=white+ultraviolet.
Source: Pék et al. 2023

2. ábra Saláta levél relatív klorofilltartalma SPAD értékkel kifejezve különböző LED fényforrás alatt. RB=vörös/kék, WL=fehér, WL+FR= fehér+ távoli vörös, WL+UV= fehér+ ultraibolya Forrás: Pék et al. 2023

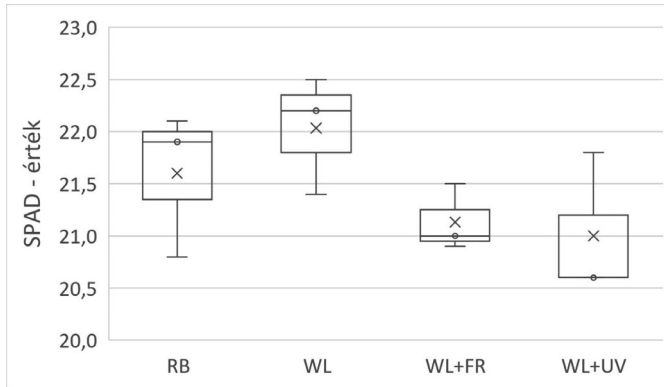


Figure 2. Relative chlorophyll content of lettuce leaves expressed as SPAD value under different LED light sources. RB=red/blue, WL=white, WL+FR= white+ infrared, WL+UV= white+ ultraviolet. Source: Pék et al. 2023

Mikroözledek termesztése vertikális gazdaságokban

Szakirodalmak szerint a vertikális farmoknak hat kritériumnak kell megfelelniük. Általában hőszigetelt és zárt, raktárszerű építményekről van szó, amelyekben a növények termesztése többszintes polcrendszereken zajlik. Gyakran zárt hidropóniás rendszerekkel működnek együtt, ahol a növényeket tápanyagban gazdag öntözővízben, gyökérközeg nélkül nevelik. Ez különösen nagy figyelmet kapott az élelmezésbiztonság javítása és a vízfelhasználás csökkentése szempontjából (Endo 2019; Kozai és Niu 2019). Természetes fénytől elzárt létesítmények lévén mesterséges megvilágításra van szükség, ezért rendkívüli energiatakarékosságuk és csekély hőkibocsátásuk miatt elsősorban LED-alapú fényforrásokat alkalmaznak. A vertikális farmokon minden, növényi fejlődés szempontjából létfontosságú környezeti tényező szabályozva van, így a rendszer rendelkezik automatikus légkondicionáló berendezéssel, CO₂ és páratartalom szabályozóval, vízszivattyúval ellátott tápoldatozó egységgel, valamint egy központi vezérlőegységgel a fent felsoroltakhoz. A vertikális farmok célja, hogy maximális erőforrás-, és energiahatékonysággal termesztenek érzékeny, nagy értékű kultúrákat, minimalizálják a termésvesztést, a minőség romlását, valamint a környezetszennyező anyagok kibocsátását (Kozai és Niu 2019). A legelterjedtebb öntözési módszer az ár-ápály, tápanyagfilm-, és a mélyvízkultúrás technika, melyeknek lényege, hogy a növényeket tápoldattal töltött tálcában nevelik. Az általunk is alkalmazott mélyvízkultúrás termesztésben a gyökérzet egész vegetációs idő alatt a tápoldatba lóg, az a gravitáció, illetve szivattyú segítségével folyamatosan keringtetve van. A magvak vetése rozsdamentes, perforált acéllemez tálcákra történik,

melyek speciális formázásuk miatt illeszkednek a fent említett tápoldattal töltött tálcákba. A magvak és a felhasznált eszközök fertőtlenítése 3%-os hidrogén-peroxid (H_2O_2) oldat és UV-C germicid lámpák kombinációjával történik. A magvak csíráztatása propagátorban történik teljes sötétségben, 90-100%-os páratartalom mellett. Az első gyökérkezdemények megjelenése után a tálcák a LED megvilágítás alá kerülnek és megkezdődik a növények növekedési időszaka, ez fajtól és fajtától függően 1-3 hetet jelenthet.

Mivel kis mennyiségű növényről van szó, a betakarítás manuálisan történik.

Fényspektrumok hatása a mikrozöldek fejlődésére

A megvilágítás az első helyen álló környezeti tényező, ami hat a növények növekedésére és fejlődésére és a zárt térben történő termesztés nagyban függ a fény minőségétől. Az energiahatékony fénykibocsátó diódák (LED) erre a célra megfelelőek és sikeresen alkalmazhatók zárt termesztési rendszerekben. Mivel a levélzöltségek fényre adott válasza nagymértékben függ a genotípustól, a fejlődési állapottól, a különböző fajtáknál a maximális termés eléréséhez meg kell határozni a különböző fejlődési szakaszok megvilágítási igényét (Wong et al. 2020). Az eltérő spektrumú megvilágításra a növény fajok, sőt a fajták is eltérően reagálnak, de abban megegyeznek a kutatások, hogy a vörös fény jelentősen hat a fotoszintetikus apparátus működésére és befolyásolja az asszimiláták szállítását (Baroli et al. 2008). A kék fény pedig a fotoszintézisben a kloroplasztok fejlődésére, a klorofill képződésére és a növény kémiai anyagainak alakulására van hatással, de a növények válasza nagymértékben függ a kék megvilágítás dózisától (Hogewoning et al. 2010). A zöld fény hatása hasonló a kékhez, a fitokróm és kriptokróm pigmenteken keresztül részt vesznek a fotoszintézisben (Swartz et al. 2001). Változik a növények vízforgalma; kék LED megvilágítás alatt, vagy ha ennek aránya nagy más kombinált megvilágításban, akkor uborka csíranövénynél nő a sztóma konduktivitás (Hernández és Kubota 2016). Hosotani és társai (2021) kimutatták, hogy gyenge kék, erős vörös fénnel együtt sztómák nyitását, de a kék fény önmagában a sztómák zárását váltja ki. Ying és társai (2021) kimutatták, hogy 30% kék:70% vörös arányú LED megvilágítás a mustár kivételével növeli az antocianin tartalmat rukkola, kel-, és vörös káposzta-, valamint az összes fenoltartalmat leveles kel és mustár mikrozöldekben, 5% kék:95% vörös arányú megvilágításhoz képest. Hasonló eredményre jutottunk előző kísérletünkben, amikor zöld és távoli vörös fénykiegészítés mellett vizsgáltuk a vörös mustár és brokkoli mikrozöldek összes antocianin tartalmát (3. ábra). Azonos erősségű zöld (18g), és távoli vörös (5fr) megvilágítás mellett legnagyobb az antocianin tartalom a brokkoli és vörös mustár levelében 1:3 arányú kék és vörös (28b70r) megvilágítás alatt. Amennyiben jelentősen csökken a kék megvilágítás aránya a vörös spektrumhoz képest (7b50r), jelentősen csökken az antocianin tartalom a vörös mustárnál. A brokkoli mikrozöld antocianin tartalma legkedvezőbb 1:3 arányú kék:vörös fény spektrum (28b70r; 12b65r) alatt (3. ábra).

Azonban túl sok vörös fény megvilágítás az ún. „vörös fény szindrómához” vezet, ami a mikrozöldek rossz morfológiájában, hibás gén expresszióban nyilvánul meg (Zhang et al. 2019). A vörös fény és más fényforrások, különösen a kék fény kombinációja, hatékonyan szabályozhatja a sztómák nyílását és javíthatja a növények szén-dioxid-felvételét, ezáltal megelőzve a „vörös fény szindróma” képződését (Darko et al. 2014; Davis és Burns 2016).

3. *ábra.* Brokkoli és vörös mustár mikrozöldek összes antocianin tartalma (TAC) különböző fényspektrumok kombinációja alatt. Az eltérő betűk a kezelések közötti szignifikáns különbséget jelölik $P < 0,05$ szinten. Zöld (18g), távoli vörös (5fr) spektrum, eltérő arányú kék (b) és vörös (r) spektrumok

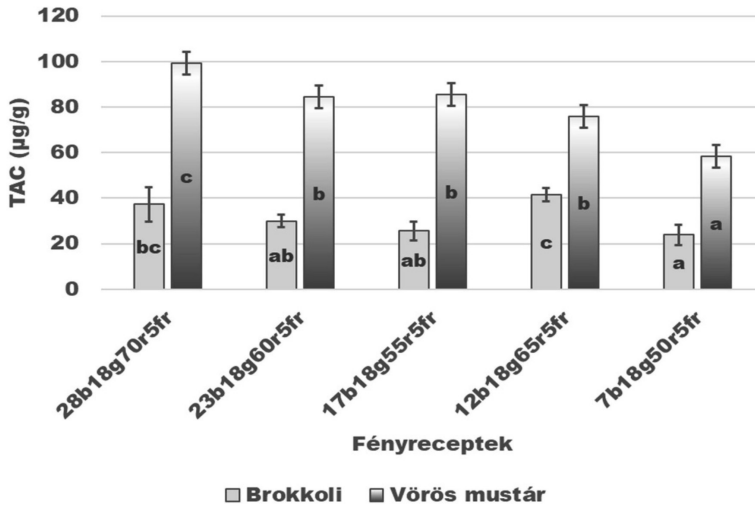


Figure 3. Total anthocyanin content of broccoli and red mustard microgreens under different combinations of light spectra. Different letters denote significant difference between treatments at $P < 0.05$ level. Green (18g), far red (5fr) spectra, different proportions of blue (b) and red (r) spectra.

A távoli vörös (FR) fokozza a saláta levelekben a CO_2 felvételét, a biomassza fejlődését (Barbieri et al. 2023) de amikor fehér fényt kiegészítik FR-del, a növények biomassza súlya nem különbözik jelentősen a standard vörös/kék (RB) alatti növényekétől. Az eredmények szerint, a fejes saláta érzékenyebb az UV fény hozzáadására, mint a távoli vörös (FR) hozzáadására; azonban előbbi jelentősen csökkentheti a terméshozamot (4. *ábra*).

A megvilágítás spektrális összetételének hatása a békilevel salátafajták minőségére

A saláta magas, körülbelül 94-95%-os víztartalmú levélzöltség, emellett alacsony kalóriatartalommal rendelkezik. Kiváló forrása a vitaminoknak, ásványi anyagoknak és bioaktív komponenseknek, mint például a polifenoloknak, karotinoidoknak, és klorofillnak, melyek jótékony hatással vannak az egészségre (Yang et al. 2022). Az anyagcseretermékek összetétele és mennyisége a saláta fajtájától és a levelek színétől függően eltérő. A vörös levelű saláta különösen gazdag karotinoidokban és antioxidánsokban (például antociánokban), emellett magas a fenol-, cianidin- és telítetlen zsírsavtartalma. A karotinoidok közül a lutein teszi ki a legnagyobb arányt, mintegy 30%-ot (Kim et al. 2018). A zöld színű levélzöltségek, a saláták gazdagok telítetlen zsírsavakban, főleg linolénsavban (Pereira et al. 2001).

4. ábra. Saláta friss biomassa tömege vörös/kék (RB), fehér (WL), fehér+távoli vörös (WL+FR) és fehér+ultraibolya (WL+UV) megvilágítás alatt az átlag, minimum és maximum értékek feltüntetésével Forrás: (Budavári et al. 2024)

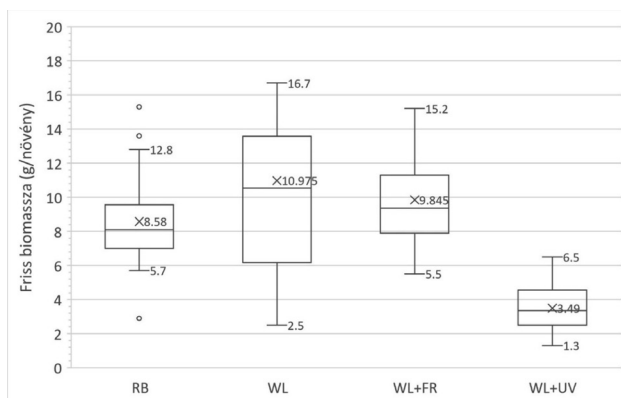


Figure 4. Fresh biomass yield of lettuce under red/blue (RB), white (WL), white+far red (WL+FR) and white+ultraviolet (WL+UV) illumination, with mean, minimum and maximum values. Source (Budavári et al. 2024)

Ismert, hogy a kék hullámhossz kedvezőbb hatással van a fitonutriensek felhalmozódására, mint a vörös spektrum. A kék fény fokozza a salátában a fenolgyeületek akkumulációját (Li és Kubota 2009; Li et al. 2017) azonban a kék fény által kiváltott antocián-felhalmozódást a zöld hullámhossz kiegészítő jelenléte gátolhatja, ami genotípustól függően változhat (Carvalho és Folta 2016). A tartósan alkalmazott monokromatikus kék (B) vagy vörös (R) megvilágítás károsan hat a saláta és a spenót összes karotinoid- és klorofilltartalmára. Ezzel szemben a kék és vörös fény kombinációja (dikromatikus megvilágítás) sokkal kedvezőbb ezekre a pigmentekre, különösen akkor, ha a B/R aránya magas (Amoozgar et al. 2017; Shengxin et al. 2016; Spalholz et al. 2020).

A fény összetételétől függően változhat a levélfelszín színe, ami összefügg a másodlagos anyagcseretermékek képződésével, például a zöld levélfelszín vöröses elszíneződése figyelhető meg, amikor a LED megvilágításban a kék fény aránya 5%-ról 30%-ra nő (Ying et al. 2020), ebben szerepe van az antociánoknak. Az antociánok erős antioxidáns hatású flavonoidok, amelyek a sejtnedv kémhatásától függően kék, piros vagy lila színt adnak a zöldségeknek és gyümölcsöknek, emellett képződésük és mennyiségük a fény spektrális összetételétől is függ. Hideg fehér fluoreszcens lámpa alatt termesztett békavirág vörös salátában az antocián szint emelkedett, amikor kék LED kiegészítést alkalmaztak (Li Kubota 2009), de a kék fény arányától függően változhat a fenoltartalom. Vörös és zöld saláta fajtákban ('Sunmang' és 'Grand Rapid TBR') az összes fenoltartalom nőtt, amint a kék fény aránya 0%-ról 47%-ra nőtt (Son és Oh 2013). A fenoltartalom növekedése a kék fény arányának növekedésével azzal magyarázható, hogy fokozódik a fenilalanin-amónia-liáz aktivitása, ami részt vesz a flavonoidok szintéziséhez vezető folyamatban (Ying et al. 2021). Ezt megerősítette Heo és társainak (2012) kísérlete is, ahol magas fenilalanin-ammonia-liáz aktivitást és egyben antociánin szintet mutattak ki vörös levelű salátában, amikor vörös LED -et kék fénnel egészítették ki.

A megvilágítás típusa befolyásolja a saláta termékek piacosságért felelős tulajdonságait. A klorogénsav az egyik olyan polifenol, amely részt vesz a salátanövények enzimatis barnulásában (Altunkaya-Dinçay 2021) és a kék fény, mint szignál vesz részt a polifenolok tartalmának növelésében (Johkan et al. 2010). Folyamatos kék megvilágítás és emelt CO₂ koncentráció magasabb klorogénsav akkumulációt okoz salátában, azonban vörös LED megvilágítással kiegészítve mennyisége csökken, ezáltal a termés piacos külleme javul (Shimomura et al. 2020). Samuoliene és társai (2012) kísérletükben három bébilevel salátafajtát – a vörös levelű ‘Multired 4’-et, a zöld levelű ‘Multigreen 3’-at és a világoszöld levelű ‘Multiblond 2’-t – vetettek el novemberben, januárban és márciusban. A növényeket természetes megvilágítás, valamint magas nyomású nátriumlámpák (HPS) alatt vizsgálták.

A vörös levelű fajta esetében a HPS-lámpa alatt mérték a legmagasabb összes fenol-, C-vitamin- és tokoferol tartalmat, míg a zöld és világoszöld levelű fajták alacsonyabb tokoferol tartalmat mutattak. A fajták eltérően reagáltak a kiegészítő fényre és a termesztési szezonra: novemberben a kék és zöld fény hatására a zöld levelű fajtában csökkent, a vörös levelű fajtában viszont nőtt az antocián tartalom, míg a világoszöld levelű salátában nem volt kimutatható változás. A vörös levelű ‘Multired 4’ fajta tokoferol tartalma minden vizsgált időszakban növekedett a kiegészítő kék és zöld fény hatására, míg a világoszöld levelű ‘Multiblond 2’ esetében jelentős növekedést novemberben és márciusban tapasztaltak. A szerzők megállapították, hogy a C-vitamin-tartalomra a legerősebb pozitív hatást az 535–505 nm-es (zöld) LED-kiegészítő megvilágítás gyakorolta, míg kisebb mértékben a 455–470 nm-es kék LED-fény is befolyásolta. Az összes antocián tartalmat leginkább az 505–455 nm-es, kisebb mértékben pedig a 470–535 nm-es LED-megvilágítás növelte, míg a fenol tartalomra mindkét kiegészítő fényforrás (kék és zöld LED) közel azonos hatást gyakorolt. A folyamatos LED-megvilágítás kedvezőbb hatással volt az összes cukor, a klorofillkoncentráció, a karotinoidok és a szacharin felhalmozódására, mint a pulzáló LED-kezelés. A folyamatos vörös/kék megvilágítás elősegítette a flavanolak akkumulációját, míg a pulzáló LED-üzemmód fokozta az antocián termelést (Ali et al. 2023). A nem strukturális szénhidrátok mennyiségét leginkább a magasabb Red:Blue arány és a nagyobb távoli vörös (Far-Red) frakció befolyásolta. A vörös fényben gazdag spektrum hatására a rukkola és a madársaláta leveleinek mio-inozit koncentrációja jelentősen megnőtt, ugyanakkor a madársalátában a szacharóz- és fruktóztartalom magasabb volt, mint a rukkolában (Frutos-Totosa et al. 2023). A távoli vörös spektrum természetes módon jelen van a napsugárzásban, és mivel a fitokróm pigmentek érzékenyek erre a hullámhosszra, nem kedvez a flavonoidok szintézisének. Ezt alátámasztja az a megfigyelés is, hogy az antociánok felhalmozódása lineáris összefüggést mutat a fitokróm mennyiségével (Steinitz et al. 1979). A távoli vörös fény gátló hatását bébilevel saláta fitokémiai anyagok felhalmozódásánál is megállapították (Li és Kubota 2009). Vörös és zöld Oakleaf saláta növényekben a 42. napon, az összes fenol-, és antocianin koncentráció nagyobb volt a B/R kezeléseknél, mint a napfényt szimuláló (SUN) illetve 100R és 100B kezeléseknél (Spalholz et al. 2020).

Következtetések és jövőképek

Az éghajlatváltozás egyre nagyobb mértékben veszélyezteti a szabadtéri zöldségtermesztést, ezért a beltéri vertikális termesztés kiemelkedő szerepet tölthet be abban, hogy egész évben biztosítsuk a magas tápértékű és egészséges élelmiszerek előállítását. Mivel a növények fejlődése mesterséges megvilágítás alatt történik, a vertikális gazdálkodási rendszerek sikeressége szorosan összefügg az

energiahatékony fényforrások (például LED-ek) használatával, valamint a fényspektrum megfelelő összetételével, a megvilágítás időtartamának pontos szabályozásával, legyen szó akár folyamatos, akár impulzus üzemű megvilágításról.

Számos tanulmány rámutatott arra, hogy a mikroözledek és a békilevel saláták vertikális termesztésének sikerét nagymértékben befolyásolja a termesztőközeg és a megvilágításhoz használt fényspektrum helyes megválasztása. A kék és vörös fény közötti arány, illetve a távoli vörös fény (FR) hozzáadása fajtától függően eltérő hatással van a növények vitalitására, terméshozamára és szárazanyag-tartalmára. A vörös fény kulcsszerepet játszik a fotoszintézisben, mivel elősegíti az asszimiláták szállítását, valamint növeli az antocián- és fenol tartalmat bizonyos mikroözledekben, mint például a brokkoli és a vörös káposzta. Azonban túlzott mennyiségben alkalmazva "vörös fény szindrómát" idézhet elő, amely a növények rossz morfológiáját és hibás génexpresszióját eredményezi. Korábbi kutatások eredményei azt mutatják, hogy a 3:1 vagy 4:1 arányú vörös/kék fény kedvezően hat a szárazanyag képződésére saláták esetében, továbbá a szárazanyag-felhalmozódás mértéke magasabb a zöld leveles salátákban, mint a vörös leveles fajtákban. A kék fény szintén nélkülözhetetlen a növények számára, mivel elősegíti a kloroplasztok fejlődését, a klorofillképződést, valamint a növény kémiai összetevőinek alakulását. Emellett növeli a vízforgalmat és a sztóma konduktivitást, különösen, ha nagy arányban alkalmazzák. A zöld fény hatása hasonló a kék fényéhez, mivel a fitokróm és kriptokróm pigmenteken keresztül vesz részt a fotoszintézis szabályozásában. Kiegészítő világításként javíthatja az antocián-felhalmozódást, különösen brokkoli és vörös mustár esetében. A távoli vörös fény (Far-Red, FR) növeli a salátalevelek CO₂-felvételét és biomassza-gyarapodását, bár fehér fény kiegészítéseként nem mutatott jelentős különbséget a standard vörös-kék megvilágításhoz képest.

A vertikális farmok vízfogyasztása igen kedvező, mivel jellemző a zárt hidropóniás rendszerek használata, ahol a felhasznált tápoldatot visszaforgatják, annak minősége folyamatosan monitorozva van, a szükséges ásványi anyagokat visszapótolják, majd visszaforgatják a rendszerbe. A felhasznált tápoldat több ízben is fertőtlenítesen megy keresztül, így a növényvédelmi vagy emberi egészségügyi kockázat elenyésző. Magyar termesztők gyakorlati tapasztalatai azt mutatják, hogy a vertikális farmokon alkalmazott zárt hidropóniás rendszerek olyannyira víztakarékosak, hogy az alkalmazottak higiénés vízfogyasztása sokszor meghaladja az öntözési és tápanyagellátási rendszerek vízfelhasználását.

Annak ellenére, hogy a vertikális farmokon való élelmiszertermelés számos országban szinte bevett gyakorlattá számított, a mesterséges megvilágítás és a talaj nélküli művelés technológiája még mindig idegennek tűnhet azon gazdák számára, akik a hagyományos termelési rendszerben gazdálkodnak. Tiszteletben tartva a hagyományos növénytermesztés jelentőségét fontos leszögezni, hogy a vertikális gazdaságok nem a konvencionális termesztést hivatottak helyettesíteni, hanem potenciális lehetőséget kínálnak annak kiegészítésére.

Köszönetnyilvánítás

A kutatás a Nemzeti Kutatási Fejlesztési és Innovációs Hivatal (NKFIH) támogatásával valósult meg. Pályázati azonosító: 2020-1.1.2-PIACI-KFI-2021-00328, KA220-VET-779E2179. Ezt a munkát támogatta a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Kiemelt Kutatócsoportok Programja és a Kulturális és Innovációs Minisztérium ÚNKP-23-3 Új Nemzeti Kiválóság Programja a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alap forrásából.

Felhasznált irodalom

1. Al-Chalabi, M. 2015. Vertical farming: Skyscraper sustainability? *Sustain Cities Soc.* 18:74–77.
2. Ali, A., P. Santoro, A. Ferrante and G. Cocetta. 2023. Investigating pulsed LED effectiveness as an alternative to continuous LED through morpho-physiological evaluation of baby leaf lettuce (*Lactuca sativa* L. var. *Acephala*). *South African Journal of Botany*, 160:560–570.
3. Altunkaya-Dinçay, A. 2021. Effect of various inhibitors on enzymatic browning, antioxidant activity and total phenol content of fresh-cut rocket salad (*Eruca sativa* Mill.). *Hacettepe Journal of Biology and Chemistry*, 49:345–354.
4. Amoozgar, A., A. Mohammadi and M. R. Sabzalian. 2017. Impact of light-emitting diode irradiation on photosynthesis, phytochemical composition and mineral element content of lettuce cv. Grizzly. *Photosynthetica*, 55:85–95.
5. Barbieri, F., S. Barbi, A. Bertacchini and M. Montorsi. 2023. Combined Effects of Different LED Light Recipes and Slow-Release Fertilizers on Baby Leaf Lettuce Growth for Vertical Farming: Modeling through DoE. *Applied Sciences (Switzerland)* 13.
6. Baroli, I., G. D. Price, M. R. Badger and S. Von Caemmerer. 2008. The contribution of photosynthesis to the red light response of stomatal conductance. *Plant Physiol.* 146:737–747.
7. Bliss, R. M. 2014. Specialty Greens Pack a Nutritional Punch. *Agricultural Research*, 62:10–11.
8. Boros, I. F., G. Székely, L. Balázs, L. Csambalik and L. Sipos. 2023. Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems – A review. *Sci Hortic.* 321.
9. Both, A. J., B. Bugbee, C. Kubota, R. G. Lopez, C. Mitchell, E. S. Runkle and C. Wallace. 2017. Proposed product label for electric lamps used in the plant sciences. *Horttechnology*, 27:544–549.
10. Bhaswant, M., D. K. Shanmugam, T. Miyazawa, C. Abe and T. Miyazawa. 2023. Microgreens—A Comprehensive Review of Bioactive Molecules and Health Benefits. *Molecules*, 28.
11. Budavári, N., Z. Pék, L. Helyes, S. Takács and E. Nemeskéri. 2024. An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*, 10:938.
12. Carvalho, S. D. and K. M. Folta. 2016. Green light control of anthocyanin production in microgreens. *Acta Hortic.* 1134:13–18.
13. Cocetta, G., D. Casciani, R. Bulgari, F. Musante, A. Kolton, M. Rossi and A. Ferrante. 2017. Light use efficiency for vegetables production in protected and indoor environments. *The European Physical Journal Plus*, 132.
14. Darko, E., P. Heydarizadeh, B. Schoefs and M. R. Sabzalian. 2014. Photosynthesis under artificial light: The shift in primary and secondary metabolism. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369.
15. Davis, P. A. and C. Burns. 2016. Photobiology in protected horticulture. *Food Energy Secur.* 5:223–238.
16. van Delden, S. H., M. SharathKumar, M. Butturini, L. J. A. Graamans, E. Heuvelink, M. Kacira, E. Kaiser, R. S. Klammer, L. Klerkx, G. Kootstra, A. Loeber, R. E. Schouten, C. Stanghellini, W. van Ieperen, J. C. Verdonk, S. Violet-Chabrand, E. J. Woltering, R. van de Zedde, Y. Zhang and L. F. M. Marcelis. 2021. Current status and future challenges in implementing and upscaling vertical farming systems. *Nat. Food.* 2:944–956.
17. Endo, M. 2019. Aquaponics in Plant Factory. *Plant Factory Using Artificial Light.* 339–352.
18. Feltman, R. 2013. The nine-story Tokyo office building that's also a farm. 2013. Available at <https://qz.com/115226/photos-the-nine-story-tokyo-office-building-thats-also-a-farm>.
19. Frutos-Totosa, A., C. Hernández-Adasme, V. Martínez, T. Mestre, H. M. Díaz-Mula, M. A. Botella, P. Flores and A. Martínez-Moreno. 2023. Light spectrum effects on rocket and lamb's lettuce cultivated in a vertical indoor farming system. *Sci. Hortic.* 321.

20. Fujiwara, K. 2020. Light sources. In Plant Factory An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production (E. Takagaki), Second Edi. 139–151.
21. Gorliczay, E., K. Montvai, J. Tamás, A. Szabó and A. Nagy. 2024. A tápoldatozási idő hatása a “Május királya” fejes saláta (*Lactuca sativa* L.) fejlődésére aeropónikus termesztésben. Kertgazdaság, 56:26–39.
22. Guffanti, D., G. Cocetta, B. M. Franchetti and A. Ferrante. 2022. The Effect of Flushing on the Nitrate Content and Postharvest Quality of Lettuce (*Lactuca sativa* L. Var. Acephala) and Rocket (*Eruca sativa* Mill.) Grown in a Vertical Farm. Horticulturae, 8.
23. Heo, J. W., D. H. Kang, H. S. Bang, S. G. Hong, C. H. Chun and K. K. Kang. 2012. Early Growth, Pigmentation, Protein Content, and Phenylalanine Ammonia-lyase Activity of Red Curled Lettuces Grown under Different Lighting Conditions. Korean Journal of Horticultural Science and Technology, 30:6–12.
24. Hernández, R. and C. Kubota. 2016. Physiological responses of cucumber seedlings under different blue and red photon flux ratios using LEDs. Environ. Exp. Bot. 121:66–74.
25. Hogewoning, S. W., G. Trouwborst, H. Maljaars, H. Poorter, W. van Ieperen and J. Harbinson. 2010. Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Cucumis sativus* grown under different combinations of red and blue light. J. Exp. Bot. 61:3107–3117.
26. Hosotani, S., S. Yamauchi, H. Kobayashi, S. Fuji, S. Koya, K. I. Shimazaki and A. Takemiya. 2021. A BLUS1 kinase signal and a decrease in intercellular CO₂ concentration are necessary for stomatal opening in response to blue light. Plant Cell 33:1813–1827.
27. Johkan, M., K. Shoji, F. Goto, S. nosuke Hashida and T. Yoshihara. 2010. Blue light-emitting diode light irradiation of seedlings improves seedling quality and growth after transplanting in red leaf lettuce. HortScience, 45:1809–1814.
28. Kalantari, F., O. M. Tahir, R. A. Joni and E. Fatemi. 2018. Opportunities and challenges in sustainability of vertical farming: A review. Journal of Landscape Ecology, 11:35–60.
29. Kim, D. E., X. Shang, A. D. Assefa, Y. S. Keum and R. K. Saini. 2018. Metabolite profiling of green, green/red, and red lettuce cultivars: Variation in health beneficial compounds and antioxidant potential. Food Research International, 105:361–370.
30. Kozai, T. and G. Niu. 2019. Plant factory as a resource-efficient closed plant production system. In Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition. Elsevier Inc. 93–115.
31. Lakhari, I. A., J. Gao, T. N. Syed, F. Ali Chandio, M. H. Tunio, F. Ahmad and K. Ali Solangi. 2020. Overview of the aeroponic agriculture – An emerging technology for global food security. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 13:1–10.
32. Lakhari, I. A., H. Yan, J. Zhang, G. Wang, S. Deng, R. Bao, C. Zhang, T. N. Syed, B. Wang, R. Zhou and X. Wang. 2024. Plastic Pollution in Agriculture as a Threat to Food Security, the Ecosystem, and the Environment: An Overview. Agronomy, 14.
33. Lee, M. J., K. H. Son and M. M. Oh. 2016. Increase in biomass and bioactive compounds in lettuce under various ratios of red to far-red LED light supplemented with blue LED light. Hortic. Environ. Biotechnol. 57:139–147.
34. Li, Q. and C. Kubota. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. Environ. Exp. Bot. 67:59–64.
35. Li, Y., G. Xin, M. Wei, Q. Shi, F. Yang and X. Wang. 2017. Carbohydrate accumulation and sucrose metabolism responses in tomato seedling leaves when subjected to different light qualities. Sci. Hortic. 225:490–497.
36. Malabadi, R. B., K. P. Kolkar, R. K. Chalannavar, K. V. Castañó Coronado, S. S. Mammadova, H. Bajinath, A. N. Ribeiro Munhoz and G. Abdi. 2024. Greenhouse farming: Hydroponic vertical farming- Internet of Things (IOT) Technologies: An updated review. World Journal of Advanced Research and Reviews, 23:2634–2686.

37. Michell, K. A., H. Isweiri, S. E. Newman, M. Bunning, L. L. Bellows, M. M. Dinges, L. E. Grabos, S. Rao, M. T. Foster, A. L. Heuberger, J. E. Prenni, H. J. Thompson, M. E. Uchanski, T. L. Weir and S. A. Johnson. 2020. Microgreens: Consumer sensory perception and acceptance of an emerging functional food crop. *J. Food. Sci.* 85:926–935.
38. Nakamura, S. 2022. Background story of the invention of efficient blue ingan light emitting diodes. *Nobel Lectures In Physics, (2011-2015)* 321–347.
39. Nozue, H. and M. Gomi. 2018. Usefulness of Broad-Spectrum White LEDs to Envision Future Plant Factory. *Smart Plant Factory: The Next Generation Indoor Vertical Farms*, 197–210.
40. Park, Y. and E. S. Runkle. 2017. Far-red radiation promotes growth of seedlings by increasing leaf expansion and whole-plant net assimilation. *Environ Exp Bot* 136:41–49.
41. Pék, Z., L. Helyes, B. Balázs and S. Takács. 2023. Effect of ultraviolet and far-red LED light added to broad spectrum white LED on lettuce production in vertical farm. *Acta Hortic.* 101–107.
42. Pereira, C., D. Li and A. J. Sinclair. 2001. The alpha-linolenic acid content of green vegetables commonly available in Australia.
43. Samuoliene, G., R. Sirtautas, A. Brazaityte and P. Duchovskis. 2012. LED lighting and seasonality effects antioxidant properties of baby leaf lettuce. *Food Chem.* 134:1494–1499.
44. Shengxin, C., L. Chunxia, Y. Xuyang, C. Song, J. Xuelei, L. Xiaoying, X. Zhigang and G. Rongzhan. 2016. Morphological, photosynthetic, and physiological responses of rapeseed leaf to different combinations of red and blue lights at the rosette stage. *Front Plant. Sci.* 7.
45. Shimomura, M., H. Yoshida, N. Fujiuchi, T. Ariizumi, H. Ezura and N. Fukuda. 2020. Continuous blue lighting and elevated carbon dioxide concentration rapidly increase chlorogenic acid content in young lettuce plants. *Sci. Hortic.* 272.
46. Son, K. H. and M. M. Oh. 2013. Leaf shape, growth, and antioxidant phenolic compounds of two lettuce cultivars grown under various combinations of blue and red light-emitting diodes. *HortScience*, 48:988–995.
47. Spalholz, H., P. Perkins-Veazie and R. Hernández. 2020. Impact of sun-simulated white light and varied blue:red spectrums on the growth, morphology, development, and phytochemical content of green- and red-leaf lettuce at different growth stages. *Sci. Hortic.* 264:109195.
48. Steinitz, B., E. Schäfer, H. Drumm and H. Mohr. 1979. Correlation between far-red absorbing phytochrome and response in phytochrome-mediated anthocyanin synthesis. *Plant Cell Environ.* 2:159–163.
49. Swartz, T. E., S. B. Corchnoy, J. M. Christie, J. W. Lewis, I. Szundi, W. R. Briggs and R. A. Bogomolni. 2001. The Photocycle of a Flavin-binding Domain of the Blue Light Photoreceptor Phototropin. *Journal of Biological Chemistry*, 276:36493–36500.
50. Treadwell, D. D., R. Hochmuth, L. Landrum and W. Laughlin. 2010. Microgreens: A New Specialty Crop. pp.
51. Wong, C. E., Z. W. N. Teo, L. Shen and H. Yu. 2020. Seeing the lights for leafy greens in indoor vertical farming. *Trends Food Sci. Technol.* 106:48–63.
52. Yang, X., M. I. Gil, Q. Yang and F. A. Tomás-Barberán. 2022. Bioactive compounds in lettuce: Highlighting the benefits to human health and impacts of preharvest and postharvest practices. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.* 21:4–45.
53. Ying, Q., Y. Kong and Y. Zheng. 2020. Applying blue light alone, or in combination with far-red light, during nighttime increases elongation without compromising yield and quality of indoor-grown microgreens. *HortScience*, 55:876–881.
54. Ying, Q., C. Jones-Baumgardt, Y. Zheng and G. Bozzo. 2021. The proportion of blue light from light-emitting diodes alters microgreen phytochemical profiles in a species-specific manner. *HortScience*, 56:13–20.
55. Zhang, Y., E. Kaiser, Y. Zhang, Q. Yang and T. Li. 2019. Red/blue light ratio strongly affects steady-state photosynthesis, but hardly affects photosynthetic induction in tomato (*Solanum lycopersicum*). *Physiol. Plant.* 167:144–158.

Szerzők:

Budavári Noémi (kapcsolattartó szerző) - PhD hallgató, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Gichaba Makini Vincent – PhD hallgató, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Helyes Lajos – MTA levelező tagja, egyetemi tanár, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Nemeskéri Eszter – CSc, címzetes egyetemi tanár, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Pék Zoltán - PhD, egyetemi tanár, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Takács Sándor – PhD, tudományos munkatárs, Magyar Agrár-, és Élettudományi Egyetem, Kertészettudományi Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.