

LED megvilágítás erősségének hatása babyleaf kategóriájú spenótra és salátára

OMBÓDI ATTILA¹, PÉK ZOLTÁN¹, NEMÉNYI ANDRÁS¹,
NAGY ZSUZSANNA¹, SZALAI ANDRÁS²

¹Szent István Egyetem, Kertészeti Intézet

²Hungaro Lux Light Kft.

E-mail: ombodi.attila@mkk.szie.hu

Összefoglalás

A világszerte növekvő népszerűségű, LED megvilágítást alkalmazó vertikális termesztőrendszerek gazdaságossága szempontjából kulcsfontosságú a megvilágítás erőssége és hossza, azaz a napi fényösszeg (DLI) értéke. Kísérletünkben 12 órás megvilágítási időtartam mellett két különböző megvilágítási szint (220 és 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ = 9,50 és 11,66 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$) hatását vizsgáltuk babyleaf kategóriájú saláta ('Webber') és spenót ('Red Kitten') fejlődésére zárt termesztőegységekben. Az 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -mal nagyobb besugárzás 1,0 °C-kal nagyobb átlagos léghőmérsékletet, és a két faj átlagában 1,1 °C-kal magasabb lombfelszín hőmérsékletet eredményezett. Ugyanakkor a maximális kvantumhatékonyság (Fv/Fm) értékek alapján a növények stresszállapotára a megvilágítás erőssége nem volt szignifikáns hatással. A fotoszintetikus pigment tartalomban nem alakult ki egyértelmű különbség a két kezelés között. A 23%-kal nagyobb besugárzás a két faj átlagában 14%-kal nagyobb friss- és 24%-kal nagyobb száraztömeg hozamot eredményezett. Száraztömegre vonatkoztatva a növekedési hatékonyságban nem volt különbség a két besugárzási szint között (0,55 g/mol a salátánál és 0,72 g/mol a spenótnál), ugyanakkor frisstömegre vonatkoztatva szignifikánsan nagyobb, 7%-kal jobb értékeket kaptunk 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os besugárzással (11,6 g/mol a 10,75 g/mol-lal szemben). Ezek alapján a kisebb besugárzási szint alkalmazása hatékonyabbnak tűnik a két vizsgált fajta esetében.

Kulcsszavak: PPF, hőmérséklet, maximális kvantumhatékonyság, frisstömeg, növekedési hatékonyság

Bevezetés és irodalmi áttekintés

Minél több környezeti tényezőt és minél precízebben tudunk szabályozni egy termesztőberendezésben, technológiai szempontból annál korszerűbbnek tekintjük azt. A zöldség-, és dísznövénytermesztés jelenlegi európai gyakorlatában a klímaszabályozott üveg- és fóliaborítású házakban megvalósított talajnélküli termesztés számít a legfejlettebb, széles körben elterjedt termesztési rendszernek (Stanghellini et al. 2019). A napsugárzástól is elzárt, általában többpolcos, vertikális termesztőrendszerekben még ennél is pontosabban, az évszaktól teljesen függetlenül állíthatók be az optimálisnak tartott környezeti körülmények. Teljesen peszticid mentesen, még a legkorszerűbb üvegházaknál is jobb energiahatékonysággal lehet termeszteni e rendszerekben (Kozai 2013; Graamans et al. 2018). Ugyanakkor a napsugárzás energiájáról való lemondás komoly gazdasági következményekkel jár. Egyelőre a növényházi termékekhez képest még kétszer magasabb áron kell tudni értékesíteni a teljesen zárt berendezésekben előállított terményeket ahhoz, hogy nyereségesek legyenek ezek az üzemek (Stanghellini et al. 2019).

A csak mesterséges megvilágítást, azon belül is egyre inkább LED lámpákat, alkalmazó termesztőrendszerek a kelet-ázsiai térségen kívül már Észak-Amerikában és Európában is kezdenek megjelenni (Kozai et al. 2015; Sipos et al. 2017; Stanghellini et al. 2019). Hazánkban is többen gondolkodnak üzemi szintű alkalmazásán. E berendezésekben olyan növényeket célszerű termeszteni, melyek 30 cm-nél alacsonyabbak, és kisebb megvilágítási szint ($< 300 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$) mellett is gyors növekedésűek, az ültetéstől számítva akár 10-30 napon belül értékesíthetők. Ezen kívül teljes zöldtömeg hozamuk legalább 85%-a áruként értékesíthető, valamint a speciális termesztési módnak köszönhetően számottevően javítható az áruminőségük. Ezeknek a követelményeknek a levélzöldségek (a babyleaf és a microgreen kategóriákat is beleértve), egyes gyógynövények és a palánták felelnek meg leginkább (Kozai et al. 2015).

A megvilágítás erősségének és hosszának megválasztása kulcsfontosságú, hiszen még LED fényforrásokat alkalmazva is az energiafelhasználás 70-80%-a a megvilágításra fordítódik és a hőfelesleg eltávolítása sem kis energiaigényű tevékenység. Tipikus hullámhossz összetétel mellett 1 Joul energiából elvileg $5,4 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ fotoszintetikus fotonáram sűrűséget (PPFD = Photosynthetic Photon Flux Density) lehet előállítani, de jelenleg még a legfejlettebb LED-ek is csak maximum $3,0 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os értékre képesek (Stanghellini et al. 2019). Célszerű tehát a fényerősséget csak addig növelni, amíg az még számottevő mértékű fotoszintetikus teljesítmény emelkedéssel jár. Tehát ahol az adott faj, fajta besugárzás – fotoszintetikus aktivitás görbéje a lineáris szakaszból átvált a telítődési szakaszba (Tazawa 1999).

A mérsékelt övi származású levélzöldségek, például a saláta és a spenót fényigénye és fényteltődési pontja más zöldeffékkal összehasonlítva viszonylag alacsony. Tazawa (1999) összefoglaló munkájában a felsorolt 14 zöldefféle közül a saláta, referenciái alapján $420 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os, fényteltődési értéke volt a legalacsonyabb. Goto és munkatársai (2014) kifejezetten LED-ekkel végzett vizsgálataikban azt találták, hogy a saláta besugárzás – fotoszintetikus aktivitás görbéjén 200-300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -ig tart a lineáris szakasz, 4-500-as értékektől már kezd egyre jobban ellaposodni a görbe, de még 800 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -nál sem érték el a fényteltettségét. Lefsrud és munkatársai (2006) a spenót fotoszintetikus aktivitását vizsgálták ötféle megvilágítási szinten 125-től 620 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -ig. Adataik alapján a vizsgált spenótfajta ('Melody') esetében a lineáris szakasz vége valahol

a 200 és a 325 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -es kezelésük közé volt tehető, a telítődési pont pedig számításaik szerint 775 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -nak adódott.

Természetesen a PPFD érték mellett a megvilágítási idő hossza is nagyon meghatározó. E két paraméter együttes kifejezésére használatos az úgynevezett napi fényösszeg (DLI = Daily Light Integral, mértékegysége $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$). Albright és munkatársai (2000) 12 és 17 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$ közötti DLI-t ajánlottak a salátafélék és más levélzöldségek termesztése számára, még nem LED-es kísérleti eredmények alapján. Stutte és szerzőtársai (2009) LED-ekkel 19,4 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$ -os DLI érték mellett 30%-kal nagyobb biomassa felhalmozódást kaptak saláta esetében, mint a kontroll fluoreszcens fényforrás esetében. Nicole és kollégái (2016) megállapítása szerint LED megvilágítással 10 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$ feletti értékekkel már megfelelő növekedési ütemet lehet elérni salátánál (Nicole et al. 2016). Goto 11,5 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{nap}$ -os DLI értéket tartott megfelelőnek a saláta termesztéséhez (Kozai et al. 2015).

Kísérletünk célkitűzése az volt, hogy egy fejlesztés alatt álló zárt termesztőegységben LED világítótesteket alkalmazva megvizsgáljuk két különböző besugárzási szint hatását babyleaf kategóriájú saláta és spenót fejlődésére.

Anyag és módszer

Kísérleti körülmények

A kísérlet a Hungaro Lux Light Kft. (HLL) telephelyén valósult meg, a kft. munkatársai által kialakított két, teljesen egyforma termesztőegységben. Ezek az egységek két darab, egymástól elszeparált rekeszből állnak, mindkettőben egy-egy 106 * 33 cm méretű természetóasztal betéttel, amelyekben két-két darab 55 * 30 cm külső méretű palántanevelő tálcát lehet elhelyezni. A rekeszeket oldalról fehér panelek veszik teljesen körbe, felülről pedig az OSB lapra szerelt világítótest határolja le. A lámpák és a tálcák közötti távolság állítható, a maximális távolság 30 cm. 15 cm-nél lejjebb nem célszerű sülyeszteni, mert ez alatt már nem lesz megfelelő mértékű a fényellátás egyenletessége. A világítótest 12 db vörös (660 nm) és 12 db kék (450-460 nm) LED égősorból áll, mindkettő az Osram (München, Németország) gyártmánya. A tető 12 óránként automatikusan átgördül az egyik rekesz fölé a másik fölé, így mindkét rekeszben 12 órás megvilágítási és 12 órás sötét periódus alakul ki, egymáshoz képest felváltva. Az egyik rekesz alatt egy tápoldat tartály került elhelyezésre, benne egy szivattyúval. A tápoldatozó rendszer bekapcsolása után a szivattyú tápoldattal árasztja el a természetóasztal betéteket, melyek kis mértékben lejtnek a befolyó oldaltól a kifolyó oldal felé. A rendszer része egy állítható túlfolyó, ezzel szabályozható, hogy milyen magasan álljon a tápoldat a betétekben. A szivattyú folyamatosan keringteti a tápoldatot, a lekapcsolása után pedig a tápoldat automatikusan teljesen leeresztésre kerül. Így ez a megoldás egyfajta kombinációja az ár-apály és a tápfilmművelés rendszereknek. A termesztőegységek elhelyezésére szolgáló helyiségben klímaberendezés működött, melyet 23 °C-ra, a saláta és a spenót hőoptimum tartományának felső határára (Terbe 2000), állítottunk be.

A két termesztőegységben különböző szintű megvilágítást valósítottunk meg. A PPFD-t az egyikben 220, a másikban pedig 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -ra állítottuk be, a palántanevelő tálcák felszínének szintjén mérve. A PPFD értékeket PAM-2500 típusú klorofill fluorométer (Walz Heinz GmbH,

Effeltrich, Németország) szenzorával mértük. Az alkalmazott 12 órás megvilágítás mellett ez a két besugárzási szint 9,50 és 11,66 mol/nap DLI értékeknek felel meg.

Termesztéstechnológia

A kísérlethez a 'Webber RZ' tölgylevelű zöld babyleaf saláta és a 'Red kitten RZ' vörös levélerű spenót fajtákat (mindkettő Rijk Zwaan Budapest Kft.) használtuk fel növényanyagként. A kísérletben használt 128 cellás (16 sorban 8-8) és 34 cm³ cellatérfogató palántanevelő tálcákat Klassman TS3 Médiium Basic típusú, tőzeg alapú palántanevelő közeggel töltöttük meg, mely csomagolása alapján literenként a következő tápanyagmennyiségeket tartalmazza: N 140, P₂O₅ 100, K₂O 180, Mg 100 mg/l. 2018.07.09-én mindkét levélzöldségből 4-4 tálcát vetettünk be, cellánként 1-1 maggal. A tálcákat a Szent István Egyetem gödöllői Kertészeti Tanüzemének csíráztató szobájában helyeztük el, ahol a kelés július 12-ére történt meg. A kelési százalék a babyleaf saláta esetében 98,0, a spenótnál pedig 96,7%-nak adódott. Még aznap átszállítottuk a tálcákat a HLL telephelyére, két-két saláta és spenót tálcát helyezve mindkét termesztőegységbe.

A növények víz- és tápanyag-utánpótlását tápoldatozás útján valósítottuk meg. A tápoldat összetétel kialakításához Sonneveld és Voogt (2009) recirkuláltatott tápoldatú salátatermesztéshez, illetve zöldség palánták előállításához ajánlott receptúráit vettük alapul. Mivel a tápoldat készítéséhez nem eső-, hanem csapvizet (EC = 0,516 mS/cm) használtunk fel, valamint a közegként felhasznált tőzeg is tartalmazott tápanyagot, ezért az irodalom alapján előzetesen kiszámított műtrágyaadagoknak csak a 80%-át használtuk fel a tényleges recepthez. Literenként a következő öntöző műtrágya mennyiségeket tartalmazta a felhasznált tápoldat: 707 mg kálium-nitrát, 778 mg kalcium-nitrát, 23 mg ammónium-nitrát, 196 mg magnézium-szulfát, 17 mg kálium-szulfát, 218 mg monokálium-foszfát és 19 mg Bentley összetett mikroelem trágya (5,9% vas, 3% mangán, 1,4% bór, 0,7% cink, 0,47% réz, 0,2% molibdén) (Trade Corporation International S.A.U., Madrid). A tápoldatozás kézi ráindítással, naponta egyszer történt; a vizsgálat elején még rövidebb, majd később hosszabb időtartamokkal. A kísérletet a vetés után 21, tehát a megvilágítási kezelés kezdete után 18 nappal, július 30-án a növények kivágásával fejeztük be.

Mérési módszerek

A vizsgálat során a LED modulok szintje alatt kb. 12 cm-rel elhelyezett Volcraft DL 121 TH (Conrad Electronic SE, Wernberg-Köblitz, Németország) típusú termorekorderekkel rögzítettük a termesztőegységeken belüli léghőmérsékletet. A növények kivágását közvetlenül megelőzően Raytek MX TD4 típusú infravörös távhőmérővel (Wilmington, NC, USA) megmértük az állományok lombfelszín hőmérsékletét, úgy hogy a mérés során a tálcák még a LED lámpák alatt voltak. Mind a nyolc tálca esetében 10-10 mérést végeztünk. A növények stressz állapotának jellemzésére PAM-2500 hordozható klorofill fluorométerrel megmértük a II. fotorendszer maximális kvantumhatékonyságát (Fv/Fm érték), tálcánként 8-8 mérést végezve középkorú leveleken.

A vizsgálat befejezésekor mindegyik tálcát két egyenlő részre (8*8 cella) osztottuk és ezeket a részeket a mintavétel szempontjából külön egységként kezeltük. Így mind a négy faj x PPFD kezeléskombináció esetében 4-4 minta állt rendelkezésünkre. A növényeket a palántanevelő közeg szintjén ollóval kivágtuk, miközben megszámloltuk őket, majd azonnal lemértük a tömegüket századgramm pontosságú digitális mérleggel. Ezután kivettünk kb. 30-30 grammnyi,

pontosan lemért tömegű növényt a szárazanyagtartalom meghatározására, a többit pedig a labormérésekhez használtuk fel. A 30 grammos mintákat 65 °C-on szárítószekrényben a tömegállandóság eléréséig szárítottuk, majd tömegüket századgramm pontossággal visszamértük. A száraztömeg és a frisstömeg hányadosaként kaptuk meg a minták szárazanyag tartalmát és ezt az adatot felhasználva számítottuk ki a növényenkénti szárazanyag tömeget. A növényenkénti friss- és száraztömeg hozamot 100%-os kelési arányt feltételezve számítottuk át négyzetméterre, így kiküszöbölve az egyes tálcák eltérő kelési százalékának hatását. A négyzetméterenkénti frisstömeg hozamot a teljes kísérleti időszakra kiszámított, molban kifejezett besugárzás mennyiséggel osztva kaptuk meg a növekedési hatékonyságot (Nicole et al. 2016).

A labormérésekre elkülönített mintákat azonnal hűtőtáskába helyeztük és így szállítottuk a Szent István Egyetem gödöllői Regionális Egyetemi Tudásközpontjának Élelmiszeranalitikai Laborjába, ahol a fotoszintézisben szerepet játszó pigmentek (klorofillok és karotinoidok) tartalmát magas nyomású folyadékromatográfiás (HPLC) módszerrel határoztuk meg. Az extrakcióhoz 3,00 g mintát és 50 ml acetont használtunk, majd a keveréket lombikba szűrtük és bepároltuk. A maradékot 10 ml oldószer keverékkel oldottuk és injektálás előtt a mintát HPLC-s 0,45 PVDF szűrőn tovább tisztítottuk. A méréshez Nucleosil1 oszlopot (C-18 magú, 250 x 4,6 mm, 3 µm), eluensként pedig (A) metanol és víz 93:7 arányú, valamint (B) metanol, acetonitril és isopropanol 10:35:55 arányú keverékét használtunk. Az áramlási sebesség 0,6 ml/perc volt, a diódasoros detektálás pedig 200 és 700 nm között történt. A csúcsok azonosítása retenció idő, spektrális tulajdonságok és irodalmi adatok alapján, standard anyagok (Sigma-Aldrich) alkalmazásával valósult meg. A klorofill-a és -b mellett, a karotinoidok közül β-karotint, luteint és négyféle xanthint (kétféle neoxanthin, violaxanthin, cycloviolaxanthin – ez utóbbit csak a salátában) detektáltunk.

Statisztikai kiértékelés

Az adatok statisztikai kiértékelését a normál eloszlás és a szórásnégyzetek egyezőségének ellenőrzését követően egytényezős varianciaanalízissel végeztük el. A kezeléscsoportok statisztikai alapú szétválasztása a Fisher-féle legkisebb szignifikáns differencia teszt alapján történt, 95%-os valószínűségi szinten.

Eredmények és megvitatásuk

Léghőmérséklet

A kísérlet teljes időtartamára vonatkoztatott átlagos léghőmérséklet a 220 µmol/m²/s-os kezelésnél 27,4 °C-nak, a 270 µmol/m²/s-osnál pedig 27,9 °C-nak adódott. A július során végrehajtott vizsgálatban tehát a klímaberendezés alkalmazása ellenére, a termesztőegységek szellőzés nélküli, zárt légterében átlagban 4-5 °C-kal magasabb hőmérséklet alakult ki, mint ami még optimálisnak tekinthető a saláta és a spenót számára (Terbe 2000). A sötét periódus során a kisebb PPFD-jű kezelésben 0,2 °C-kal volt alacsonyabb a hőmérséklet (25,4 és 25,6 °C-os átlagok). Ezt annak tulajdonítjuk, hogy a termesztőegység éppen megvilágítási periódusban lévő szomszédos rekeszből ennyivel kevesebb hő sugározhatott át, mint a nagyobb besugárzást használó egység esetében. A megvilágítási időszakban a 220 µmol/m²/s-os kezelés 3,8 °C-jával szemben, a 270 µmol/m²/s-os kezelésben 4,6 °C-kal volt magasabb a hőmérséklet a sötét időszakhoz képest (1. ábra). Az 50 µmol/m²/s-mal nagyobb besugárzás így 1,0 °C-kal nagyobb hőmérsékletet eredményezett a megvilágítási időszakban (29,2 és 30,2 °C-os átlagok).

1. ábra. LED megvilágítás erősségének hatása a zárt termesztőegységek léghőmérsékletének alakulására a nap során

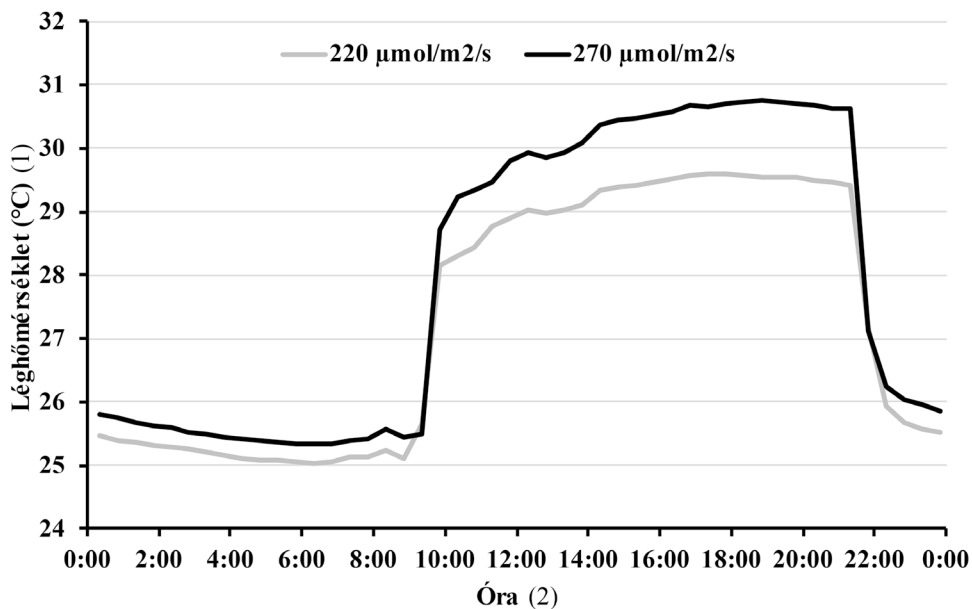


Figure 1. Effects of LED lighting radiation level on air temperature conditions of the closed growing units (1 - air temperature (°C), 2 – hour)

Lombfelszín hőmérséklet

A lombfelszín hőmérsékletek (2. ábra) 5-6 °C-kal alacsonyabbak voltak, mint a mérések időpontjában a termesztőegységek rekeszeiben rögzített léghőmérsékletek (1. ábra). A növények vízellátása tehát teljesen kielégítő volt, kellő mértékben le tudták magukat hűteni a párologtatás útján. A kezeléscsoportok egy viszonylag szűk, 1,5 °C-os tartományon belül mozogtak, ennek ellenére alakultak ki szignifikáns mértékű különbségek a kezelések között (2. ábra). A nagyobb besugárzási szint mindkét faj esetében szignifikánsan magasabb lombfelszín hőmérsékletet eredményezett. Ez valószínűleg azzal magyarázható, hogy a besugárzási szint nem befolyásolta a növények párologtatási potenciálját, miközben a nagyobb besugárzási szint magasabb léghőmérsékletet eredményezett (1. ábra).

2. ábra. LED megvilágítás erősségének hatása saláta és spenót lombfelszín hőmérsékletére a megvilágítási periódusban

(* Az azonos betűvel jelölt átlagok 95%-os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól szignifikáns mértékben a Fisher-féle legkisebb szignifikáns differencia teszt alapján)

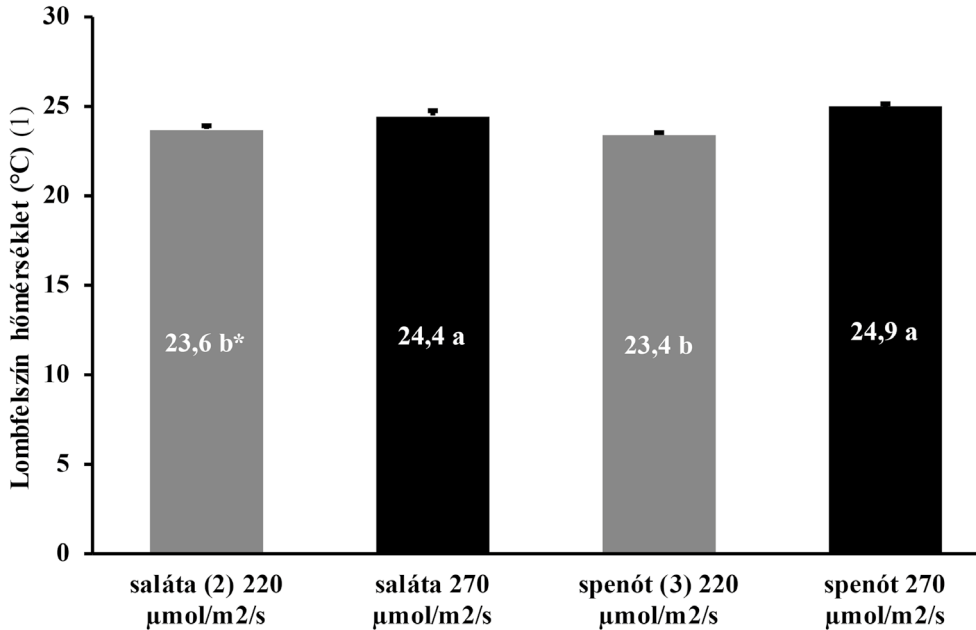


Figure 2. Effects of LED lighting radiation level on canopy surface temperature of babyleaf lettuce and spinach (1 – canopy surface temperature (°C), 2 – lettuce, 3 – spinach)

Maximális kvantumhatékonyság

Egy optimális körülmények között fejlődő, vagyis abiotikus stresszt nem elszenvedő növény Fv/Fm értéke 0,720 és 0,850 között változik (Bolhar-Nordenkamp et al. 1989). A kísérletünkben mért maximális kvantumhatékonyság értékek (3. ábra) mind a négy faj x PPFD kezelés-kombináció esetében e tartomány közepére estek. A kezeléscsoportok 0,790 körüli értékei jónak, magasnak számítanak, ugyanakkor nem érik el az ideális állapotot jelző 0,820 és 0,850 közötti értékeket. Valószínűleg a túl magas léghőmérséklet okozhatta azt, hogy jelen vizsgálatban nem valósult meg ez a szint. A négy kezeléscsoport között nem alakultak ki szignifikáns mértékű különbségek, a legnagyobb és a legkisebb érték között is csak 0,005 volt az eltérés (3. ábra). Sem a besugárzás szintje, sem a növényfaj nem befolyásolta szignifikáns mértékben a maximális kvantumhatékonyság értékek alakulását. Az alkalmazott besugárzási szintek mellett a 23%-kal kisebb PPFD tehát nem jelentett stresszfaktort sem a saláta, sem a spenót számára.

3. ábra. LED megvilágítás erősségének hatása saláta és spenót maximális kvantumhatékonyságára a kísérlet utolsó napján

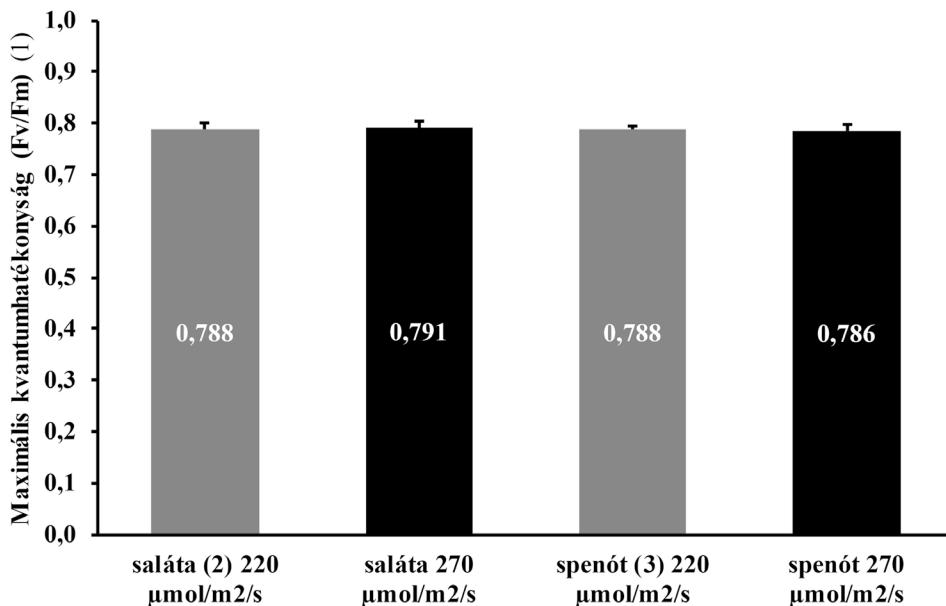


Figure 3. Effects of LED lighting radiation level on maximum quantum efficiency (Fv/Fm) of baby leaf lettuce and spinach on the last day of the experiment (1 – maximum quantum efficiency (Fv/Fm), 2 – lettuce, 3- spinach)

Terméseredmények

A növényenkénti friss- és száraztömegben és a növekedési hatékonyságban is alakultak ki lényegi különbségek a két PPFD szint között (1. táblázat). Az 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -mal nagyobb besugárzás a saláta esetében 11, a spenótnál pedig 17%-kal nagyobb frisstömeget eredményezett; a különbségek szignifikáns mértékűnek bizonyultak. A 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os kezelésben a szárazanyag-tartalom is nagyobb lett 10, illetve 7,5%-kal, bár ez az eltérés egyik fajnál sem bizonyult szignifikáns mértékűnek. Így összességében a 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os kezelésben a száraztömeg hozam a salátánál 23, a spenótnál pedig 25%-kal haladta meg a 23%-kal kisebb besugárzási szintű, 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os kezelését.

Természetesen a fajnak is volt szignifikáns hatása a terméseredmények alakulására (1. táblázat), de ezt inkább csak a teljesség igénye miatt érdemes megemlíteni. A kísérlet háromhetes időtartama alatt a spenót frisstömeg hozama, szárazanyag-tartalma és így a száraztömeg produkciója is szignifikánsan nagyobb lett, mint a baby leaf salátáé.

A frisstömegegre vonatkoztatott növekedési hatékonyság értékek 10 és 12 g/mol közöttiek voltak (1. táblázat), ami a baby leaf kategória esetében jónak számít korábbi kísérleti eredményekből

kiszámítható értékekhez viszonyítva (Li és Kubota 2009; Pardo et al. 2014; Goto et al. 2016). A frisstömegre kifejezett növekedési hatékonyság esetében a leglényegesebb eredmény az, hogy a nagyobb besugárzási szint mellett mindkét faj esetében szignifikánsan kisebbnek adódott ez a jellemző (1. táblázat), tehát a frisstömeg nem növekedett olyan mértékben, mint amennyivel a besugárzást megemeltük. Viszont amikor száraztömegre vonatkoztatva számítottuk ki a növekedési hatékonyságot, akkor azt tapasztaltuk, hogy egyik faj esetében sem alakult ki szignifikáns különbség a két PPFD szint között. Tehát a száraztömeg olyan mértékben növekedett, amennyivel a besugárzást megemeltük. Sajnos azonban a szárazanyag hozam kereskedelmi és így gazdasági szempontból nem igazán lényeges jellemző a babyleaf kategóriájú levélzöldegek esetében.

1. táblázat. LED megvilágítás erősségének hatása saláta és spenót növénytömeg, szárazanyag tartalom és növekedési hatékonyság értékeinek alakulására

Faj / besugárzás ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	Friss- tömeg (g/ db)	Szárazanyag tartalom (%)	Száraz- tömeg (mg/db)	Friss- tömeg (g/m^2)	Száraz- tömeg (g/m^2)	Növekedési hatékonyság (7)	
						(g friss- tömeg/mol)	(g száraz- tömeg/mol)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		
Saláta (8) 220	2,48 d*	4,93 c	122 c	1921 d	95 c	11,2 b	0,55 b
Saláta 270	2,75 b	5,44 bc	150 b	2137 b	116 b	10,2 c	0,55 b
Spenót (9) 220	2,62 c	6,00 ab	157 b	2034 c	122 b	11,9 a	0,71 a
Spenót 270	3,06 a	6,45 a	197 a	2370 a	153 a	11,3 b	0,73 a

(*Adott oszlopon belül az azonos betűvel is jelölt átlagok 95%-os valószínűségi szinten nem különböznek egymástól szignifikáns mértékben a Fisher-féle legkisebb szignifikáns differencia teszt alapján)

Table 1. Effects of LED lighting radiation level on fresh weight, dry matter content, dry weight and growth efficiency of babyleaf lettuce and spinach (1 – species/irradiation, 2 – fresh weight (g per piece), 3 – dry matter content, 4 – dry weight (mg per piece), 5 – fresh mass production, 6 – dry mass production, 7 – growth efficiency (g FW/mol and g DW/mol), 8 – lettuce, 9 – spinach)

Fotoszintetikus pigment tartalom

Az összes fotoszintetikus pigment tartalom három kezelés esetében is $900 \mu\text{g}/\text{g}$ frisstömeg környékén alakult, míg a $270 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os spenót tálcáknál csak $750 \mu\text{g}/\text{g}$ körüli érték adódott (2. táblázat). Ennek oka ez utóbbi kezelés jóval alacsonyabb klorofill tartalma volt, az összes karotinoid mennyiségében nem maradt el nagymértékben a többi kezelés értékétől. Az összes fotoszintetikus pigment tartalom kb. 70%-át a klorofillok tették ki. A néha nagymértékű különbségek ellenére, a viszonylag nagy szórások miatt, az egytényezős varianciaanalízisek eredményei alapján csak kevés jellemző esetében alakult ki statisztikailag is szignifikáns mértékű különbség a kezeléseik között. A klorofill b esetében a már említett $270 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ -os spenót kezelés maradt el szignifikáns mértékben a másik három kezelés értékétől, míg a lutein tartalomban a két faj között alakult ki lényegi különbség, mégpedig a spenót javára (2. táblázat).

A szignifikáns mértékű különbségeken kívül érdemes még megemlíteni a xanthinok sokkal magasabb koncentrációját a saláta esetében.

2. táblázat. LED megvilágítás erősségének hatása saláta és spenót klorofill és karotinoid tartalmának ($\mu\text{g/g}$ frisstömeg) alakulására

Faj / besugárzás ($\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$)	kloro- fill a	kloro- fill b	kloro- fill a+b	β -karotin	lutein	xan- thinok	összes ka- rotinoid	összes fotoszintetikus pigment
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Saláta (10) 220	408	214 a*	622	43	63 b	158	264	885
Saláta 270	425	219 a	644	42	66 b	162	269	913
Spenót (11) 220	429	207 ab	636	41	127 a	109	278	913
Spenót 270	348	166 b	514	30	109 a	89	228	742

(* az azonos betűvel is jelölt átlagok nem különböznek egymástól szignifikáns mértékben 95%-os valószínűségi szinten a Fisher-féle legkisebb szignifikáns differencia teszt alapján)

Table 2. Effects of LED lighting radiation level on chlorophyll and carotenoid contents of babyleaf lettuce and spinach ($\mu\text{g/g}$ fresh weight) (1 – species / irradiation, 2 – chlorophyll a, 3 – chlorophyll b, 4 – chlorophyll a + b, 5 – β -carotene, 6 – lutein, 7 – xanthins, 8 - total carotenoids, 9 – total photosynthetic pigments, 10 – lettuce, 11 - spinach)

Összességében megállapíthatjuk, hogy a 23%-kal magasabb PPFD szint alkalmazása bár a két faj átlagában 24%-kal megnövelte a szárazanyag hozamot, de a piaci szempontból jóval fontosabb frisstömeg produkcióban csak 14%-os növekedést eredményezett. Eközben a nagyobb besugárzás számottevő mértékben megnövelte a természetegységek lég-, valamint a növények lombfelszín hőmérsékletét, ami természetesen nagyobb hűtési energia igényt von magával. Ezen adatok alapján a 270 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ -os PPFD, vagyis 11,66 $\text{mol/m}^2/\text{nap}$ -os DLI értékhez képest a kisebb, 220 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ -os PPFD, vagyis 9,50 $\text{mol/m}^2/\text{nap}$ -os DLI szint alkalmazása hatékonyabbnak tűnik, bár konkrét gazdaságossági számításokat az alkalmazott termesztőrendszer kísérleti jellege miatt egyelőre még nem végeztünk. Ez utóbbi DLI szint némileg kisebb, mint a korábbi irodalmak által megadott 10 és 17 $\text{mol/m}^2/\text{nap}$ közötti értékek (Albright et al. 2000; Kozai et al. 2015; Nicole et al. 2016), ami a HLL munkatársai által kialakított termesztőegység jó hatékonyságát bizonyítja.

Köszönetnyilvánítás

A kísérlet a KFI_16-1-2016-0041 számú K+F pályázat anyagi támogatásával valósult meg.

Irodalomjegyzék

1. Albright, L.D., Both, A.J. and Chiu, A.J. 2000. Controlling greenhouse light to a consistent daily integral. *Transactions of the ASAE*, 43(2): 421-431.
2. Bolhar-Nordenkamp, H.R., Long, S.P., Baker, N.R., Öquist, G., Schreiber, U. and Lechner, E.G. 1989. Chlorophyll fluorescence as a probe of the photosynthetic competence of leaves in the field: a review of current instrumentation. *Functional Ecology*, 3: 497-514.
3. Goto, E., Matsumoto, H., Ishigami, Y., Hikosaka, S., Fujiwara, K. and Yano, A. 2014. Measurements of the photosynthetic rates in vegetables under various qualities of light from light-emitting diodes. *Acta Horticulturae*, 1037: 261-268.
4. Goto, E., Hayashi, K., Furuyama, S., Hikosaka, S. and Ishigami, Y. 2016. Effect of UV light on phytochemical accumulation and expression of anthocyanin biosynthesis genes in red leaf lettuce. *Acta Horticulturae*, 1134: 179-186.
5. Graamans, L., Baeza, E., Van den Dobbelen, A., Tsafaras, I. and Stanghellini, C. 2018. Plant factories versus greenhouses: Comparison of resource use efficiency. *Agricultural Systems*, 160: 31-43.
6. Kozai, T. 2013. Resource use efficiency of closed plant production system with artificial light: Concept, estimation and application to plant factory. *Proceedings of the Japan Academy Series B*, 89(10): 447-461.
7. Kozai, T., Niu, G. and Takagaki, M. (Ed.) 2015. *Plant factory: An indoor vertical planting system for efficient quality food production*. Academic Press, London.
8. Lefsrud, M.G., Kopsell, D.A., Kopsell, D.E. and Curran-Celentano, J. 2006. Irradiance levels affect growth parameters and carotenoid pigments in kale and spinach grown in a controlled environment. *Physiologia Plantarum*, 127(4): 624-631.
9. Li, Q. and Kubota, C. 2009. Effects of supplemental light quality on growth and phytochemicals of baby leaf lettuce. *Environmental and Experimental Botany*, 67(1): 59-64.
10. Nicole, C.C.S., Charalambous, F., Martinakos, S., Van de Voort, S., Li, Z., Verhoog, M. and Krijn, M. 2016. Lettuce growth and quality optimization in a plant factory. *Acta Horticulturae*, 1134: 231-238.
11. Pardo, G.P., Aguilar, C.H., Martínez, F.R., Pacheco, A.D., González, C.M. and Canseco, M.M. 2014. Effects of light emitting diode high intensity on growth of lettuce (*Lactuca sativa* L.) and broccoli (*Brassica oleracea* L.) seedlings. *Annual Research & Review in Biology*, 4(19): 2983-2994.
12. Sonneveld, C. and Voogt, W. 2009. *Plant nutrition of greenhouse crops*. Springer Netherlands, Dordrecht.
13. Stanghellini, S., van't Ooster, B. and Heuvelink, E. 2019. *Greenhouse horticulture – Technology for optimal crop production*. Wageningen Academic Publishers, Wageningen.
14. Sipos, L., Boros, I.F., Purczel, Á., Varga, Z., Szőke, A. and Székely, G. 2017. LED-ek hasznosítási lehetőségei a növénytermesztésben. 49(3): 11-22.
15. Stutte, G.W., Edney, S. and Skerritt, T. 2009. Photoregulation of bioprotectant content of red leaf lettuce with light-emitting diodes. *HortScience*, 44(1): 79-82.
16. Tazawa, S. 1999. Effects of various radiant sources on plant growth (Part 1). *Japan Agricultural Research Quarterly*, 33: 163-176.
17. Terbe I. 2000. *Levélzöldségfélék*. Dinasztia Kiadó, Budapest.

Effects of LED irradiance levels on babyleaf lettuce and spinach

OMBÓDI, A.¹, PÉK, Z.¹, NEMÉNYI, A.¹, NAGY, ZS.¹, SZALAI A.²

¹Szent István University, Institute of Horticulture, Gödöllő

²Hungaro Lux Light Ltd.

E-mail: ombodi.attila@mkk.szie.hu

Summary

Importance of closed vertical growing systems equipped with LED lighting is increasing worldwide. The profitability of these systems greatly depends on the employed level of photosynthetic photon flux density (PPFD) and photoperiod, hence, on the daily light integral (DLI). In the present experiment effects of two PPFD levels at 12 hour photoperiod (220 and 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ equal to 9.50 and 11.66 $\text{mol}/\text{m}^2/\text{day}$ DLIs) on babyleaf lettuce ('Webber') and spinach ('Red Kitten') were compared. The 50 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ higher PPFD has resulted 1.0 °C increase in the air temperature of the employed closed growing units and 1.1 °C increase in canopy surface temperature, in the average of the two species. However, based on the measured maximum quantum efficiency (F_v/F_m) data the PPFD level did not affect the stress levels of the plants. The 23% increase in PPFD and DLI have caused 14% higher fresh mass and 24% higher dry mass production in the average of the two species. Growth efficiency based on dry mass production (0,55 g/mol for lettuce and 0.72 g/mol for spinach) did not differ between the two PPFD levels. However, growth efficiency based on fresh mass production was significantly higher (7% increase) by using 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ irradiance level (11.6 g/mol versus 10.75 g/mol). Based on these findings, application of 220 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ PPFD instead of 270 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ seems to be more efficient in case of the two investigated cultivars.

Keywords: PPFD, temperature, maximum quantum efficiency, fresh weight, growth efficiency

Szerzők:

Ombódi Attila (kapcsolattartó szerző) – PhD, egyetemi docens, Szent István Egyetem, Kertészeti Technológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Pék Zoltán – PhD, egyetemi tanár, Szent István Egyetem, Kertészeti Technológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Neményi András – PhD, egyetemi docens, Szent István Egyetem, Kertészeti Technológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Nagy Zsuzsa – PhD, tudományos segédmunkatárs, Szent István Egyetem, Kertészeti Technológiai Intézet, 2100 Gödöllő, Páter Károly utca 1.

Szalai András – cégvezető, HUNGARO LUX LIGHT Világítóeszköz-gyártó, Kereskedelmi és Szolgáltató Kft. 1171 Budapest, Rákoskert sugárút 62.