

SZAKDOLGOZAT

Gábris Mirtill

Budapest 2024



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Budai Campus

Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet

Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Kertészmérnök alapképzési szak

**LED technológia alkalmazási lehetőségei növényházi növekedés
szabályozásban**

Belső konzulensek:

Dr. Honfi Péter

Egyetemi docens, tanszékvezető, PhD

MATE, Tájépítészeti, Településtervezési és
Díszkertészeti Intézet

Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Dr. Mosonyi István Dániel

Egyetemi adjunktus, laboratóriumvezető, PhD

MATE, Tájépítészeti, Településtervezési és
Díszkertészeti Intézet,

Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Készítette:

Gábris Mirtill

Tartalom

1. Bevezetés és célkitűzés	3
2. Irodalmi áttekintés	4
2.1. LED Technológia bevezetése és előnyei a növénytermesztésben	4
2.2. LED fényforrások szerepe a növények fotoszintézisében és növekedésében.....	5
2.3. LED fények hatása a virágzásra és a szárazanyagtartalomra	8
3. Anyag és módszer	12
3.1. A kísérletben használt növény eredete és a <i>Petunia</i> ‘Kuyamba lilac blue’ bemutatása	12
3.2. A kísérlet időtartalma és helyszíne.....	12
3.3. A kísérlet elindítása	13
3.4. A kísérlet menete.....	14
3.4.1 Előkészületek a mérésekhez.....	14
3.4.2. A kísérlet során alkalmazott növényvédelem.....	14
3.4.3. A kísérlet során alkalmazott tápoldatozás	14
3.4.4. Élettani vizsgálatok	14
Klorofill- és karotinoidtartalom mérése a levelekben	14
Peroxidáz (POD) enzimaktivitás meghatározása	15
Gázcsereenyílásokra gyakorolt hatás	16
Gyökérfelületmérés	17
Szárazanyagtartalom vizsgálat és levélfelületmérés	18
Egyéb vizsgálatok	19
3.4.5. Kísérletek kiértékelése	19
4. Eredmények és következtetések.....	20
4.1. Morfológiai változások a növényeken	20
4.1.1. Magasság, elágazások száma és virágszám.....	20
4.1.2. Gázcsereenyílásokkal kapcsolatos mérések.....	22

Gázcserenyílások nyitottsága és nagysága	22
Gázcserenyílások darabszáma	23
4.1.3. Gyökérfelületmérések	23
4.1.4. Levélfelületmérés	25
4.2 Beltartalmi változások a növényekben.....	27
4.2.1. Klorofill- és karotinoidtartalom	27
4.2.2. Peroxidáz (POD) enzimaktivitás	30
4.2.3. Szárazanyagtartalom vizsgálat	32
5. Összefoglalás.....	33
6. Köszönetnyilvánítás	34
7. Irodalomjegyzék.....	35
8. Táblázatok és ábrák jegyzéke.....	41
Táblázatok	41
Ábrák	41

1. Bevezetés és célkitűzés

Napjainkban, rengeteg üvegházban, *in vitro* laborban és szaporítóüzemben használnak LED fényforrásokat önmagukban vagy akár pótvilágításként. Sőt a háztartásokban is nagyon elterjedtek lettek, mivel kevesebbet fogyasztanak, hosszú az élettartalmuk, távirányítóval is könnyen be lehet állítani a szint, vagyis könnyen kezelhető, ami a mai ember számára fontos szempont. Az elmúlt 15-20 évben számos termesztőnek vagy kutatónak (még a NASA-nak is) keltette fel az érdeklődését milyen hatásai vannak a különböző hullámhosszon világító LED alapú fényforrásoknak. A mostani kilátások (klímaváltozás) szerint olyan rendszerekkel kísérleteznek, amikben teljesen ki van zárva a napfény, vissza tudják nyerni a víznek a 90%-át és minél kisebb felületen tudjanak nagy mennyiségben emberi fogyasztásra alkalmas növényt előállítani. Itt is fontos megjegyezni, hogy LED-eket használnak ezekben a kísérletekben vagy már a meglévő rendszerekben, tehát élelmezési szempontból is kulcsfontosságú. Számos kísérletnél a salátát vették alapul, de vizsgáltak búzát és uborkát is. Viszont úgy gondolom, hogy dísnövényeknél is hatalmas hasznát vehetnénk. Ha minden termesztett dísnövény taxonnál kitapasztalnánk a megfelelő vörös és kék fény arányt.

Az általam lefolytatott kísérlet célja a vörös és kék, illetve kizárólag kék LED technológia alapú világító rendszerek alkalmazása során *Petunia* 'Kuyamba lilac blue' növényen tapasztalt változások megfigyelése, feljegyzése és a mért adatok kiértékelése. A munkám során a klorofill-, karotinoid- és szárazanyagtartalom, peroxidáz enzimaktivitás, gázcsereenyílásokra gyakorolt hatás, gyökérfelület mérés, illetve a növények magassága, elágazások és virágszámának megfigyelése volt. A kísérletben pótmegvilágításként alkalmaztam 100% kék, 75% vörös és 25% kék illetve 75% kék és 25% vörös LED fényeket.

2. Irodalmi áttekintés

2.1. LED Technológia bevezetése és előnyei a növénytermesztésben

A LED-ek olyan félvezető eszközök, amelyek szűk spektrumban bocsátanak ki fényt, amikor rájuk előre irányított feszültséget alkalmazunk. Az LED-ek széles hullámhossztartományban elérhetők és számos előnnyel rendelkeznek a hagyományos fényforrásokkal szemben, mint például kevés hőt termelnek, hosszú élettartamúak, kis helyet foglalnak, alacsony áramfelvételűek, hatékonyak, energiatakarékosak, gazdaságosak, könnyen telepíthetők, és nagy üzembiztonsággal üzemeltethetők (Bourget, 2008). A LED a Light Emitting Diode mozaik szóból származik, jelentése fénykibocsátó diódák. A LED-ek alacsony hőtermeléssel bocsátanak ki fényt egy meghatározott hullámhossztartományon, ezért akár közvetlenül a növények fölé helyezhetjük őket (Cope and Bugbee, 2013)(Yeh and Chung, 2009). Élettartalmuk akár 50 ezer óra is lehet. Előnyük, hogy a fény színe meghatározható és beállítható akár előre is, emellett az energiahatékonyság 30%-kal növelhető a hagyományos fényforrásokkal szemben (Jagers op Akkerhuis, 2008). Egyenletesebb a fény eloszlásuk és akár a felére is csökkenthetik az energia költségeket. (Algeier, 2011a)

2011-ben a Philips körülbelül 100 kertészetben folytatott kutatásokat a Green Power LED-lámpáival. Az egyik legnagyobb dán korallvirágtermesztő cég, a Knud Jepsen A/S Kalanchoë termesztésénél kísérletezett és az eredmények azt mutatták, hogy a korallvirágok termesztése irányíthatóbbá vált és zömökebben tartotta a növényeket. Egy holland Vitro Plus nevű *in vitro* labor is kísérletezett főleg páfrány (*Nephrolepis*) *in vitro* palántákon. A LED fényeknél nem volt szükségük hűtésre mivel alacsonyabb a hőtermelésük szemben a hagyományos fényforrásokkal. Bár a LED-lámpák beszerzési költsége jóval magasabb, mint a hagyományos fényforrásoké, 5 év alatt megtérülnek, mivel nem szükséges 2 évente cserélni őket, ellentétben a hagyományos fényforrásokkal. (Algeier, 2011a). Hosszú élettartalmuk és könnyű kezelhetőségük miatt egész évben használhatóak a növényházakban (Yeh and Chung, 2009).

A fényforrás által másodpercenként kibocsátott fotonok számát jellemző mutató a Fotoszintetikus Fotonfluxus (PPF), amelyet $\mu\text{mol s}^{-1}$ -ben fejezik ki, míg a fotoszintetikus fotonfluxussűrűség (PPFD) a fénytelepítés jellemzője a fényforrás helyzetétől függően az megvilágított területhez viszonyítva ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -ben kifejezve) (Sipos et al., 2020). Ezenkívül a LED lámpák esetében a megfelelő elektromos hatékonysági mutatót a fotoszintetikus fotonok mikromolja egy joule energia bemenetenként ($\mu\text{mol J}^{-1}$ -ben mérve) jelenti, ami további fontos paraméter, amikor LED világítótesteket hasonlítunk össze (Nelson and Bugbee, 2014).

A LED-ek magas koncentrációval rendelkező monokromatikus fényforrások, és a hullámhosszaik megfelelnek a növényfejlődéshez szükséges tartományoknak. Mivel a LED-ek nem melegszenek fel, nem égetik meg a növényeket még akkor sem, amikor közel vannak elhelyezve. Ez azt jelenti, hogy a rendelkezésre álló helyet effektívebben tudják kihasználni. (Rahman et al., 2021). A LED-ek világítási spektrumának kiterjesztésével, beleértve a távoli vörös és időnként ibolyántúli fényt, a fényforrások egyre inkább hasonlítanak a természetes napfény spektrumához. Ez azt jelenti, ha létrehoznak olyan technológiákat, akkor állítható lesz a fényintenzitás és a színspektrum a termesztési folyamatnak vagy a napszaknak megfelelően (Székely et al., 2018). Másrészt, a természetes fény gyakran nem elegendő a növények optimális fejlődéséhez a természetben, mivel az időjárási hatások, például a felhők, az eső és egyéb klímát érintő tényezők miatt. Ezért mesterséges megvilágítást alkalmaznak a növénytermesztési létesítményekben (Jung and Arar, 2023).

A LED-ek az elmúlt években jelentős népszerűsége tettek szert különböző növénytermesztési alkalmazásokban, mint például üvegházi létesítményekben, növényi szövettenyésztésben, valamint különféle kertészeti növények termesztésében (Bantis et al., 2018). A LED-technológia széleskörű alkalmazását kedvező tulajdonságai, alacsony energiafogyasztása és minimális környezeti hatása indokolják, ami különösen fontossá teszi a fenntartható mezőgazdasági rendszerekben. Jelenleg világszerte egyre több kertészeti ültetvényben használják a LED-világítást, különösen fóliasátrakban, a zöldségek és gyógynövények növekedési ütemének fokozására. Bár a LED-ek alkalmazása egyre inkább elterjed a kertészeti termelésben, a jelenlegi kutatások nem szolgáltatnak elegendő adatot ahhoz, hogy a LED-technológia teljes potenciálját kihasználhassuk e területen (Sena et al., 2024).

2.2. LED fényforrások szerepe a növények fotoszintézisében és növekedésében

A legfontosabb hullámhosszok a kék és piros tartományban találhatók, ahol a klorofill molekulák felveszik a fényenergiát, és felhasználják azt a fotoszintézishez (McCree, 1971). A fotoszintézist számos paraméter befolyásolja, például a fény minősége (hullámhossz vagyis a szín), mennyisége (fluencia) és fotoperiódus ((Chen et al., 2004);. Az a képesség, hogy dinamikusan módosítsák a spektrumkibocsátást, potenciálisan befolyásolhatja a növény alakját többféle módon. A spektrumkibocsátás az adott fotoperiódus vagy növekedési ciklus hosszának megfelelően is állítható, ezzel lehetővé téve az egyes növények vagy termelési folyamatok testreszabhatóságát (Fylladitakis, 2023). A 400 és 700 nm közötti tartományt általában fotoszintetikusan aktív sugárzásnak (PAR) tekintik, amely kedvező a növények számára. A

növények kloroplasztiszi felhasználják a fotoszintézishez szükséges PAR-tartományba tartozó elektromágneses fénysugárzást, ami elengedhetetlen a fotoszintézishez (Inyang and Daniels, 2009). t. A fotoszintézisre a pigmentek 360 és 760 nm között reagálnak; ebben a széles tartományban az érkező fotonok különböző energiaszinteket biztosítanak a fotoszintézishez. A fotonfluxus információval szolgál a fényintenzitásról és a növények számára hasznos hullámhosszról. Ennek megfelelően a 600 és 630 nm közötti fotonok 20–30 százalékkal előnyösebbek a növények számára, mint azok, amelyek 400 és 540 nm között vannak (Nelson and Bugbee, 2014).

Növényekre gyakorolt hatásuk tekintetében a LED fények kulcsszerepet játszanak a fítolámpák területén. A nm (nanométer) a hullámhossz mértékegysége, és egy nanométer egy milliárdadmétert jelent. A LED fényeknél a 400-700 nm közötti hullámhossztartományban jön létre a fotoszintézis. A különböző hullámhosszú fények különböző hatásokat váltanak ki a növényekben.

A növények növekedési folyamatainak szabályozásában a vörös és kék LED fények fontos szerepet játszanak.

A kék fény (450 nm - 490 nm) stimulálja a fotoszintézis folyamatát, serkenti a növények leveleinek zöld pigment tartalmát, és elősegíti a kompakt növekedést. Ezen kívül a kék fény hatására a gyökérfejlődés és a szármegnyúlás is megfigyelhető, mivel elősegíti az auxin hormon termelődését. Hatással van a sztómanyitásokra, a növény biológiai órájára, illetve a fototropizmusra. Továbbá hatással van a magméretre és az árnyékkerülésre (Liu et al., 2011).

A vörös fény (620 nm - 750 nm) szintén kulcsfontosságú a fotoszintézis szempontjából, különösen a virágzásra hat, de a terméshozamra is hatással van. Emellett a vörös LED fények szintén stimulálják a gyökérfejlődést és a szármegnyúlást, mivel elősegítik az auxin hormon termelődését. (Merényi, 2013).

A klorofill-a két abszorpciós (elnyelés) maximumai fontosak a növények számára, és meghatározzák, hogy milyen hullámhosszú fényeket használnak fel a fotoszintézishez. A klorofill-a elnyelési maximuma a kék tartományban 400-450 nm-nél, míg a vörös tartományban 660 nm-nél található.. A klorofill-b az előzőhöz képest eltolt hullámhosszokon, ugyanakkor szintén két abszorpciós csúccsal rendelkezik, amelyek 640 nm-nél és 425-475 nm között helyezkednek el (LÁNG, 1998). A növények a vörös és a kék fényt abszorbeálják (Zhu et al., 2008).

A magasabb rendű növényekben 3 féle fotoreceptor csoportot azonosítottak, amelyek reagálnak a kék színre (390-500 nm). Ezek közül az egyik a kriptokrómok (Chaves et al., 2011), amelyek a pigmentszintézisben, a virágzásban és a hipokotil (a csíranövény része, amely a mag és a szár között helyezkedik el) megnyúlásának gátlásában vesznek részt, illetve a fotoperiodizmusban (növények biológiai órája). A másik a fototropinokat, amelyeket a fotoropizmusnál (fényfelé hajlás), sztómanyitásnál, kloroplasztisz mozgásnál és a hipokotil megnyúlásának gátlásánál használják a növények. (Sipos et al., 2017)

Először a Wisconsini Egyetemen vetették fel a LED-ek használatát növénytermesztésre. Feljegyezték, hogy a vörös LED-ek alatt termesztett saláták (*Lactuca sativa*) növekedése kék fluorescent (BF) lámpával kiegészítve megegyezett az akkor használt hideg-fehér fluorescent (CWF) és izzólámpák mellett termesztetteknek. Azután további teszteket végeztek a salátákon és kimutatták, hogy a 660 nm hullámhosszú vörös fénytől megnyúlnak a csíranövények hipokotiljai (Hoenecke et al., 1992).

Miért is fontos, hogy kék fényt is kapjanak a növények? A helyes válasz az az első wisconsini tanulmányoknál ki is derült (Hoenecke et al., 1992). A Kennedy Space Centerben vizsgált búzacsírák hajtásai nem fejlesztettek klorofillt csak $500 \mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$ vörös fény esetében, ezért módosították a kísérleten és vörös fényből csak $100 \mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$, kékből $30 \mu\text{mol} \times \text{m}^{-2} \times \text{s}^{-1}$ kaptak a növények, ezáltal helyre tudták állítani a klorofillszintézist (Tripathy and Brown, 1995). Olyan kutatási adatok is napvilágot láttak, amelyek arra mutatnak rá, hogy a csak vörös fény alatt lévő növények levelei abnormális morfológiát mutattak, ami azt jelentette, hogy lefelé görbültek a levélszélek és spirálisan növekedtek, de a hozzáadott kék fény helyreállította a levélmorfológiát (Goins et al., 1998).

Cope and Bugbee, (2013) tanulmányában 400-500 nm között volt relatív kék fény (amit az én dolgozatomban vizsgáltam) hullámhossz tartománya, retek (*Raphanus sativus*, cv. *Cherry Belle*) szóját (*Glycine max*, cv. *Hoyt*) és búzát (*Triticum aestivum*, cv. *Perigee*) használtak alanyak. Megvizsgálták mekkora hatással van a kék fény a szárazanyagtömegre, a szárhosszúságra, a levélterületre, klorofillkoncentrációra és a hajtások számára. Az adott növénytől függött az eredmény, ami arra enged következtetni, hogy minden növény fajnak vagy fajtának más-más mennyiségben van szüksége a kék fényre.

A növények fotoszintézise és növekedése szempontjából kulcsfontosságú a megfelelő fénykörnyezet biztosítása. A kutatók egyre több figyelmet fordítanak arra, hogy hogyan befolyásolja a különböző fényforrások aránya és intenzitása a növények fejlődését és

terméshozamát. A következő szövegrészben szeretnék bemutatni több kísérletet, amik hatással voltak az én kísérletemre is.

2011-ben a hollandiai Wageningen Egyetemen LED-lámpák segítségével vizsgálták, hogy a vörös és a kék fény milyen hatással van a növények gyökeresedésére és elágazódására. 5 örökzöld dísznövény (*Buxus*, *Chamaecypariss*, *Lavandula*, *Juniperus*, *Ceanothus*) dugványt vizsgáltak meg 10-35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{sec}$ erősségű LED fényforrást használva. 16 órán keresztül kaptak a növények megvilágítást. A dugványokat négy szinten helyezték el egymás alatt. Az előzetes eredmények szerint a 85% vörös és 15% kék fény hatására felgyorsult a dugványok növekedése (Algeier, 2011b)

Szeretném megemlíteni Pennisi et al., (2019) tanulmányát amelyben az *Ocimum basilicum* cv. *Superbot* vizsgálták. Az észlelt változások a következők voltak, a legnagyobb változást a 75%-ban vörös és 25%-ban kék fény arányban figyelték meg. Nőtt a friss levéltömeg illetve a klorofilltartalom. Az összes ásványi anyag tartalom is szintén ebben az arányban volt a legmagasabb. A hozamot is megfigyelték és arra a következtetésre jutottak, hogy minél nagyobb arányban volt kék fény annál kevesebb volt a bazsalikomok hozama.

Egy másik kísérletben 2 *Phalaenopsis* fajtát hasonlítottak össze, a 'Purple Star'-t és a 'Vivien'-t. Három fénykezelést alkalmaztak a következőképpen: (1) 40% kék és 60% vörös fény (40% B/R), (2) 100% vörös fény (0% B/R), és (3) fehér LED-ekkel, ahol a kék tartalom 32% volt a fehérben (32% B/W). A főlíasátrakban a hőmérséklet nappal 24°C, éjszaka pedig 18°C volt és naponta 14 órán át kaptak világítást. Mind a *Phalaenopsis* 'Vivien', mind a *Phalaenopsis* 'Purple Star' esetében a 40% B/R kezelés élénkebb vörös színezetet eredményezett. A második mérésnél a 'Vivien' esetében a vizsgált fejlődő levél friss levéltömegének értéke legnagyobb volt a 32% B/W kezelésben. A levél területe szintén a 32% B/W fénykezelés hatására volt a legnagyobb. A 'Purple Star' esetében a friss levél tömege és a levél területe a 40% B/R kezelés növelte a legjobban. A kék fény növelte a fotoszintézis hatékonyságát és a stressztűrő képességet. Összességében az eredményeik azt mutatták, hogy rendkívül fontos a kék és a vörös LED fényforrások megfelelő arányban történő használata, főleg a kereskedelmi termesztés során, mivel a 'Vivien' érzékenyebb a fényre, mint a 'Purple Star', ami azt jelenti, hogy a 'Vivien' fajtánál előfordulhat fény okozta levélsérülés (Ouzounis et al., 2015a).

2.3. LED fények hatása a virágzásra és a szárazanyagtartalomra

A fényminőség fontos szerepet játszik az évelő és néhány étkezési növény megjelenésében és termelékenységében. Például a távoli vörös fény a hosszúnappalos

növények esetében segíti a virágzás serkentését (Gerald F. Deitzer et al., 1979); (Downs, 1956). A kék fény a fototropizmus szempontjából fontos (Blaauw and Blaauw-Jansen, 1970) a sztómák nyitásában (Schwartz and Zeiger, 1984). Továbbá, a fény minősége nemcsak különböző metabolikus változásokat idéz elő, hanem közvetlen vagy közvetett hatással van a kórokozókra, kártevőkre és természetes ellenségeikre is. (Kim et al., 2019).

Példaként szolgál, hogy a kék fénynek való kitettség csökkentheti a hajtások száraz tömegét és levélterületét az *Asteraceae* (őszirózsfélék) családba tartozó növényeknél. A *Solanaceae* (burgonyafélék) családba tartozó növények esetében azonban a fordított hatást észlelték, növelve a hajtások száraztömegét és levélterületét (Sabzalian et al., 2014); (Vu et al., 2014), (Sena et al., 2024). Továbbá a fény spektrum összetételének módosítása kulcsfontosságú, a LED technológia alkalmazásakor annak érdekében, hogy specifikus hatásokat váltsunk ki a növény morfológiájára, élettani folyamataira és vegyületeire (Liu et al., 2020); (Ouzounis et al., 2015b).

A *Cyclamen persicum* Mill. cv. 'Dixie White' növényenél szinténfény kombinációkat, illetve a napi világítási idő hosszát vizsgálták, milyen hatással van a virágzásra. Kiderült, hogy a kék és vörös LED-ek együtt javították a virágzást, míg a csak kék vagy csak piros LED-ek csökkentették azt. Emellett a fény típusa és az expozíciós idő befolyásolta a virág szárának hosszát és a virágzás időtartamát is. A tanulmány azt a következtetést vonta le hogy a ciklámen virágzását és növekedését a fény és a világítási idő megfelelő beállításával lehet befolyásolni. A kék és vörös fény hatására (naponta 10 óra) volt szignifikánsan a legmagasabb a bimbók száma és a kinyílt virágok száma. A virágszár hossza 23,8 cm volt a piros LED mellett nevelt növényeknél (naponta 12 óra), míg a fluoreszcens fény alatt 14 cm. A növények virágzási ideje a fluoreszcens fény alatt 20 nap volt, míg a piros LED-es növényeknél (10 óra naponta) 40 nap (Heo et al., 2003).

A fény tartományát főként a különböző fotoreceptorok érzékelik, amelyek specifikusak a különböző hullámhosszakhoz, például a fitokróm a vörös és távoli vörös fényt érzékeli, a kriptokróm kék, zöld és UV (ultraviola) fényt érzékeli, míg a fototropinok kék fényre érzékenyek. A petúniák sikeres termesztésének egyik fontos feltétele, hogy minimum 5-6 órás napfényt kapjanak, de jobban teljesítenek ha egész nap teljes napsütésben vannak (Gautam, 2012). A vörös fény gátolja a petúniák magasságának növekedését (Haliapas et al., 2008). A kék fény serkenti a virágzást, míg a vörös fény alacsony intenzitása gátolja a virágok kialakulását, de a magasabb intenzitású vörös fény képes a virágzást előidézni (Fukuda et al.,

2011). A fakultatív hosszúnappalos növények, mint a petúnia, gyorsabban virágoznak hosszú nappalok alatt, bár bármilyen fényperiódus alatt képesek virágozni. Azonban nem csak a fotoperiodus van hatással a növények virágzására, hanem az adott nap folyamán kapott teljes fény mennyisége (órában megadva) azaz a napi fénymennyiség integráltja (Gautam, 2012).

Petúniákkal kapcsolatban a következők voltak a tapasztalatok. A távoli vörös fény virágzást serkent az *Arabidopsis*-ban és a petúniában (Lee and Amasino, 1995, Haliapas et al., 2008). Ráadásul a vörös és távoli vörös fény magas aránya virágzás késleltetéséhez és virágfejlődés gátlásához vezet néhány növényben (Runkle and Heins, 2001). Ez összhangban van azzal, tanulmánnyal amely kimutatta, hogy a vörös és a távoli vörös fény arányának csökkentése serkenti a petúnia 'Madness Rose' fajta virágzását (Park et al., 2016).

A petúnia növények fejlődése és fotoszintézise szempontjából a fehér és vörös és kék LED fény közötti fő különbségek az alábbiak voltak: A fehér LED fény alatt nevelt növények magasabb száraz tömeget és nagyobb virágzási időszakot mutattak, valamint több virággal rendelkeztek, mint a vörös és kék fény alatt nevelt növények. A fehér fény alatt nevelt növények lazább, kiterjedtebb koronát mutattak, míg a vörös és kék fény alatt nevelt növények kompaktabb koronát fejlesztettek ki. Ennek a tanulmánynak az eredményei azt mutatják, hogy a fehér fény hatékonyabb lehet a petúnia növények termesztésében, mint a vörös és kék fény. Arra a következtetésre jutottak, hogy a 63% vörös és 23% kék fénykezelésnél jobban hasznosult a vörös fény, mint a fehér és vörös fény kombinációjánál (Phansurin et al., 2017).

A szárazanyagtartalomra is hatással voltak a vörös és kék LED fények Gautam (2012)-es tanulmánya szerint. Eredménye összhangban volt Ménard et al., (2006) tanulmányával, ahol a kiegészítő kék fény növelte a kígyóuborka és a paradicsom növények száraztömegét. Rahman et al., (2021) tanulmányában szintén megfigyelték, hogy a 10% kék és 90% vörös fény hatására nőtt a szárazanyagtartalom a vizsgált növényekben. Hasonlóan, más tanulmányok is kimutatták, hogy a piros fényben gazdag és a kék fényben szegény források csökkentették a növények száraztömegét (Brown et al., 1995); (Smith, 1982). (Heo et al., 2003)-ban is arról számolt be, hogy hogy a kék és a vörös LED fények egyidejűleg való alkalmazása során szignifikánsan megnőtt a virágbimbók és nyitott virágok száma. Azonban a kék és a vörös fény külön-külön alkalmazva csökkentette a virágzás válaszát, de fontos kiemelni, hogy a vörös fény eltolta a kontroll növényekhez képest a virágzási időt. A Randall and Lopez, (2014) által bemutatott eredmények a petúniával kapcsolatban érdekesnek bizonyultak számomra mivel az én kísérletem is hasonló vörös és kék LED fény arányokkal valósult meg. 70% vörös és 30% kék

arányban a következőket figyelték meg, a petúnia palánták gyökér száraztömege és hajtás tömege ebben az arányban volt a legalacsonyabb, viszont előre tudták hozni 20 nappal a virágzást a 100% vörös és 0% kék aránnyal szemben. Illetve a palánták minősége és a gyökér:hajtás arány is ebben 70:30-as vörös-kék fény arányban volt a legmagasabb. Viszont ennél a kísérletnél is arra jutottak, hogy kompaktabbá tudták tenni a növényt.

Tehát összességében a petúniában a piros fény gátolja a növény magasságát és a virágzást, de serkenti az oldalsó hajtások növekedését. Ezzel szemben a kék fény növeli a hajtás növekedését és elősegíti a virágzást. A kék fény hatása a szár növekedésére fajonként változhat, valamint a háttérfény, például a fotoperiódus, a sugárzáserősség és a fényminőség függvényében. (Gautam et al., 2015).

3. Anyag és módszer

3.1. A kísérletben használt növény eredete és a *Petunia* ‘Kuyamba lilac blue’ bemutatása

A petúniák népszerű virágágyai növények és a burgonyafélék (*Solanaceae*) családjába tartoznak. A petúnia az egyik legnépszerűbb kerti növény lett. Eredetileg Dél-Amerikából hozták be Európába. A „petúnia” név a francia „petun” szóból ered, ami „dohányt” jelent. A mai nemesített változatok többsége hibrid (*Petunia x hybrida*). A petúniákat széles körben használják virágágyakban. Melegebb éghajlatokon évelők, bár általában egynyáriként termesztik (legalábbis mérsékelt éghajlatú területeken). Remek konténeres növények is. A szivárvány összes színében megtalálhatók, egyszínűek, kontrasztos erezetekkel vagy szélekkel, valamint csillagmintákkal. A petúnia hibridek mára világszerte elterjedtek kerti és konténeres növényként (Gautam, 2012).

A *Petunia* ‘Kuyamba lilac blue’ egy futó típusú növény, amely kompakt, gömbölyded növekedési formával rendelkezik. Korai virágzás jellemzi, valamint erős elágazódási képessége révén gyors fejlődésre képes. Elsősorban ámpolnába ajánlják a nyári időszakban (Kientzler Garten, 2024).

1. ábra: *Petunia* ‘Kuyamba lilac blue’ (fotó: Gábris M.)



3.2. A kísérlet időtartalma és helyszíne

A kísérlet 2024.04.05-én vette kezdetét és 2024.05.22-én fejeződött be. A megadott időintervallumban 2 alkalommal végeztem méréseket. Az első mérés időpontja április 29-én volt, a második mérés időpontja május 22-én volt. A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Budai Campusán, a Dísnövénytermesztési és Dendrológiai Tanszéken található fitotronban SANYO MLR-351H (SANYO Electric Co., Ltd. Japán)

végeztem el és SMARTWIFI PLANON 45X45 MGC RGBTW RC típusú LED-eket használtam.

3.3. A kísérlet elindítása

Az első körben *Petunia* 'Kuyamba lilac blue' cserepes növényekből vegetatívan szaporítva 10-12 cm-es hajtás dugványokat készítettem. 60 darabot vágtunk le, ez azt jelenti, hogy kezelésenként 15 darab dugványt kaptam. A dugványokat 50% perlit (Magyar Kertészeti Perlit) és 50% tőzeg (KEKKILÄ TSM 1W R6010) keverékbe helyeztem, amikhez 7 cm-es cserepeket használtam fel. Ezután egy magas falú tálcába tettem a dugványokat, amiket a fitotronban lévő kialakított 4 szintre raktam.

A LED paneleket közvetlenül a növények felett helyezkedtek el, tökéletesen lefedve az alanyokat. A legfelső szinten helyezkedtek el a kontroll növények, ezek csak a fénycső (800 Watt) által kaptak fehér fényt. A második szinten 100%-ban kék fényt kaptak a növények pótvilágításként. A harmadik szinten 75%-ban kaptak vörös és 25%-ban kék fényt. Az alsó szinten 25% vöröset és 75% kék fényt kaptak. A polcok magasságát úgy állítottuk be, hogy mindegyik szinten közel ugyanakkora fényintenzitás érje a növényeket, ezt TES-1334-A fényintenzitásmérővel ellenőriztük.

A fitotron 5 ciklusra volt állítva, amelyek között 1, 3, 4, és 9 óra eltérés is lehetett. A páratartalmat a növények öntözéséből származó víz biztosította, ezzel nagyjából 50-60%-os relatív páratartalmat tudtunk elérni. A petúnia dugványokat naponta 16 órán át érte fény és a maradék 8 órában pedig teljes sötétség volt.

2. ábra: Fitotronban lévő petúnia dugványok
LED fényben 2024.04.05. (fotó: Gábris M.)



1. táblázat: A fitotron ciklusai órára, hőmérsékletre és fényintenzitásra lebontva. (saját szerkesztés)

Idő	6:00	9:00	11:00	17:00	20:00	21:00
Hőmérséklet (C°)	22	23	25	24	23	22
Fényintenzitás (számmal)	3	4	4	4	3	0
Fényintenzitás (luxban)	4000	12000	12000	12000	4000	0

3.4. A kísérlet menete

3.4.1 Előkészületek a mérésekhez

Az alanyokról vágtam leveleket a klorofill-, karotinoid- és a peroxidázmérésekhez. Május 22-én ezt szintén megismétltem. Emellett a tálcán lévő növényekből kiválasztottam négyet, amelyek nagyjából középen helyezkedtek el, ezeket használtam fel a szárazanyagtartalom méréséhez. Az összegyűjtött leveleket rendszerezve, mélyhűtőben tároltam.

3.4.2. A kísérlet során alkalmazott növényvédelem

2024.05.02-án a dugványokat 1 ml/l Amistar nevű gombaölő készítménnyel kezeltem. Illetve 0,4 g/l Mospilannal és 0,8 ml/l Cyperkillel kezeltem háromszor két hét különbséggel. Ezekre azért volt szükség, mert megjelentek a növényeken üvegházi molytetvek.

3.4.3. A kísérlet során alkalmazott tápoldatozás

A növények vastartalmú Osmocote-ot és 3-4 hónapos kálium túlsúlyos Osmocote-ot kaptak, illetve öntözésnél 1 ml/l Humusz FW-t.

3.4.4. Élettani vizsgálatok

Klorofill- és karotinoidtartalom mérése a levelekben

A mélyhűtőben tárolt levelekből mintákat készítettem. Kezelésenként 4-5 darab nagyjából 100-200 mg közötti levélmintát használtam fel, amiket egy analitikai mérleggel (VWR LAG314 típusú) mértem le. Tehát a két mérésnél 19-19 levélminta jött létre. A kivonatokat hűtött dörzsmozsárban készítettem el, amihez szükségem volt a levélmintákhoz, egy kis kanálnyi kvarchomokhoz (ez segített a gyorsabb és megfelelőbb sejtfeltáráshoz), illetve 80%-os hígítású acetonhoz (3 ml). Ezeket homogén állagúra dörzsöltem, majd egy 10 ml-es mérőhengerbe töltöttem. Két alkalommal öblítettem ki a dörzsmozsarakat acetonnal amiket szintén a mérőhengerbe töltöttem nagyon odafigyelve, hogy ne maradjanak növényi részek, majd ezek után a mérőhengerekhez annyi hígított acetont adtam, hogy elérje a 10 ml-t. A kivonatokat kémcsőbe töltöttem át, majd parafilmmel lezártam. Miután leülepedtek a kivonatok, a felúszó acetonos szövetkivonatnak megvizsgáltam a spektroszkópiai tulajdonságait.

De mindenekelőtt készítettem egy 80%-os acetonos úgynevezett vakmintát, amit a vizsgált mintáimmal szemben spektrofotometráltam a THERMO SCIENTIFIC GENESYS 10vis típusú spektrofotométerben. A kivonatok abszorbanciáját 644, 664, 480 nm hullámhosszon mértem meg. A kapott értékeket a következő egyenletbe helyeztem be, így megkaptam a klorofill- (a+b) illetve a karotinoidtartalmat $\mu\text{g/g}$ mértékegységben.

$$\text{klorofill}(a + b) \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ friss súly} = (20,2 \times A_{644} + 8,02 \times A_{663}) \times \frac{V}{w}$$

$$\text{karotinoid} \frac{\mu\text{g}}{\text{g}} \text{ friss súly} = 5,01 \times A_{480} \times \frac{V}{w}$$

Ahol a **V** = a szövetkivonat térfogata (ml), a **w** = a szövet friss tömege (g) és az **A** = abszorbancia, az adott hullámhosszon a vakkal szemben mért fényelnyelés (Horváth and Erdei, 2003).

3. ábra: Parafilmmel lefedett szövetkivonatok (fotó: Gábris M.)



Peroxidáz (POD) enzimaktivitás meghatározása

A mélyhűtőben tárolt levelekből készítettem a mintákat. Ezeket a mintákat 100-200 mg-os részekre szedtem, amiket az analitikai mérleggel mértem le. A lemért leveleket fóliákra helyeztem, ráírtam a kezelés betűjelét és számát, illetve, hogy hány milligramm volt az adott minta. Kezelésenként 4-6 levélminta jött létre, ami azt jelenti, hogy összesen a két mérésnél 20-20 minta állt rendelkezésemre. Ezután készítettem mindegyik növényi mintából 4 °C-os foszfát pufferoldattal egy elegyet, melyeknek mindegyike nagyjából 300 mg volt. Ezek után a növényi mintákat párosítottuk egymással, ez szükséges volt a centrifugáláshoz, mivel a mintákat egymással szemben kellett elhelyezni, és figyelni kellett arra, hogy az egymással szemben lévő mintáknak hasonló legyen a tömegük. Ha nem volt párja az adott növényi mintának, akkor készítettem egy nagyjából azonos ellensúlyt. A centrifugába (EPPENDORF 5418R) egyszerre 16 mintát tudtam behelyezni. A centrifugálás 4 °C-on, 20 percig, 13500 rpm fordulatszámon

történt. A centrifugálás után készítettem reakció elegyeket mintánként, amelyek a következőkből álltak: 1700 µl Na-acetát (pH=4,5) puffer, 30 µl 100x hígítású H₂O₂, 10 µl növényi minta, 20 µl ortodianizidin metanolban oldva (10 mg/ml koncentráció). Kay et al., (1967) módszerét követve. A reakció elegyeket összeráztam és behelyeztem a klorofill mérésnél is használt spektrofotométerbe, a reakcióelegy fényelnyelését 460 nm hullámhosszon mértem 2 percig, 10 másodperces időközönként. A kapott ΔA érték az 1 perc alatti lineáris abszorbanciaemelkedést adta meg, ezeket feljegyeztem, majd a következő képletekkel meghatároztam a peroxidázaktivitást.

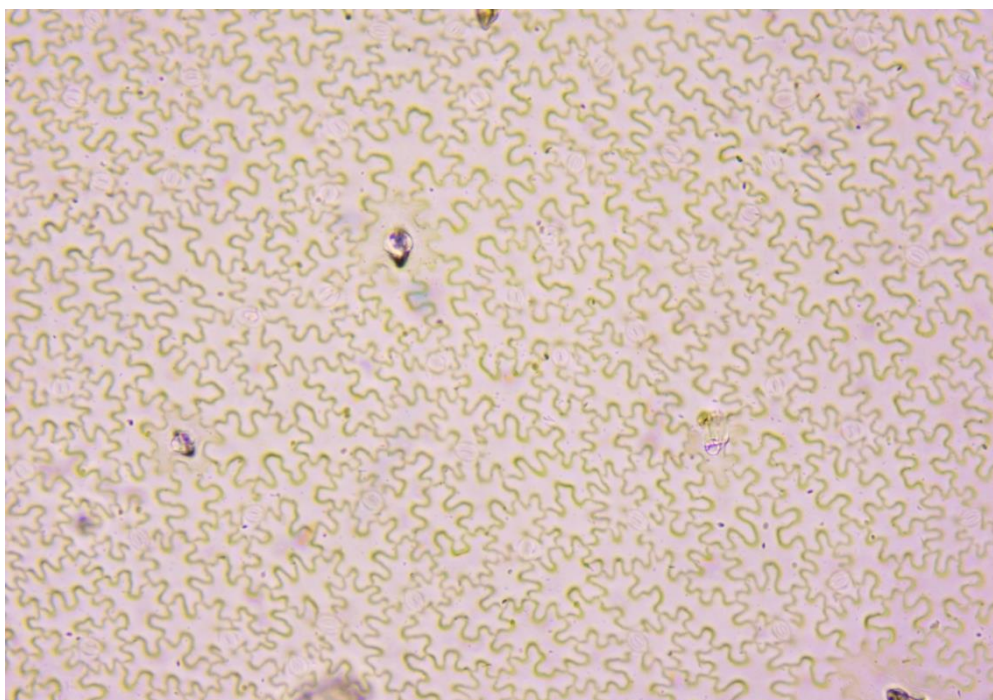
$$U = \frac{\Delta A_1 I \times \text{hígulás}}{\varepsilon_{(odia)}}, [U] = \frac{\text{unit}}{\text{ml}} \text{ és } \frac{U}{\text{ml}} : \frac{\text{mg}}{\text{ml}} = \frac{U}{\text{ml}} \times \frac{\text{ml}}{\text{mg}} = \frac{U}{\text{mg}}. \text{ (Kay et al., 1967)}$$

Ezeket felvezettem Excelbe ahol a fent látható képletekkel kiszámoltam, majd a kapott értékeket az SPSS nevű program segítségével kiértékeltem.

Gázcsereenyílásokra gyakorolt hatás

Május 22-én a fitotronban lévő tálcák közepén lévő növényekről ollóval vágtam le leveleket. A levelek fonákjára átlátszó körömlakkal festettem csíkokat, értől érig. Megvártam, amíg megszáradnak, majd egy csipesz segítségével óvatosan lehúztam a lakkréteget és egy tárgylemezre helyeztem, ezután glicerín-desztillált víz 50-50%-os elegyét cseppentettem rá és lefedtem a mintákat egy fedőlemezzel. Majd fénymikroszkóp alatt 40x-es nagyításban fényképeket készítettem az Euromex ImageFocus ALPHA nevű program segítségével.

4. ábra: Fénymikroszkóp alatt készült kép a levél fonáki részének a lenyomatáról (fotó: Gábris M.)



Kezelésként 8 mintát készítettem, vagyis összesen 32 mintám lett, a fénymikroszkóp alatt 76 kép készült, mindegyik mintáról minimum 2 képet.

A gázcsereenyílások szélességét és hosszát, illetve a sztómák szélességét és hosszúságát is lemértem. Ezen adatok segítségével kiszámoltam mennyire voltak nyitottak a gázcsereenyílások, illetve hatással voltak-e a kezelések a gázcsereenyílások méretére. A következő képleteket használtam:

$$\begin{aligned} & \text{gázcsereenyílások nyílásainak területe } (\mu\text{m}^2) \\ &= \pi \times \frac{\text{zárósejtek nyílásainak szélessége}}{2} \times \frac{\text{zárósejtek nyílásainak hosszúsága}}{2} \\ & \text{gázcsereenyílások területe } (\mu\text{m}^2) \\ &= \pi \times \frac{\text{zárósejtek szélessége}}{2} \times \frac{\text{zárósejtek hosszúsága}}{2} \end{aligned}$$

A kísérlet során meghatároztam a sztómák sűrűségét is a levelek fonákján, azaz megszámláltam, hány darab/mm² sztóma alakult ki. A készült képek alapján egyes gázcsereenyílások számát rögzítettem és kiszámoltam az átlagos sűrűséget.

Gyökérfelületmérés

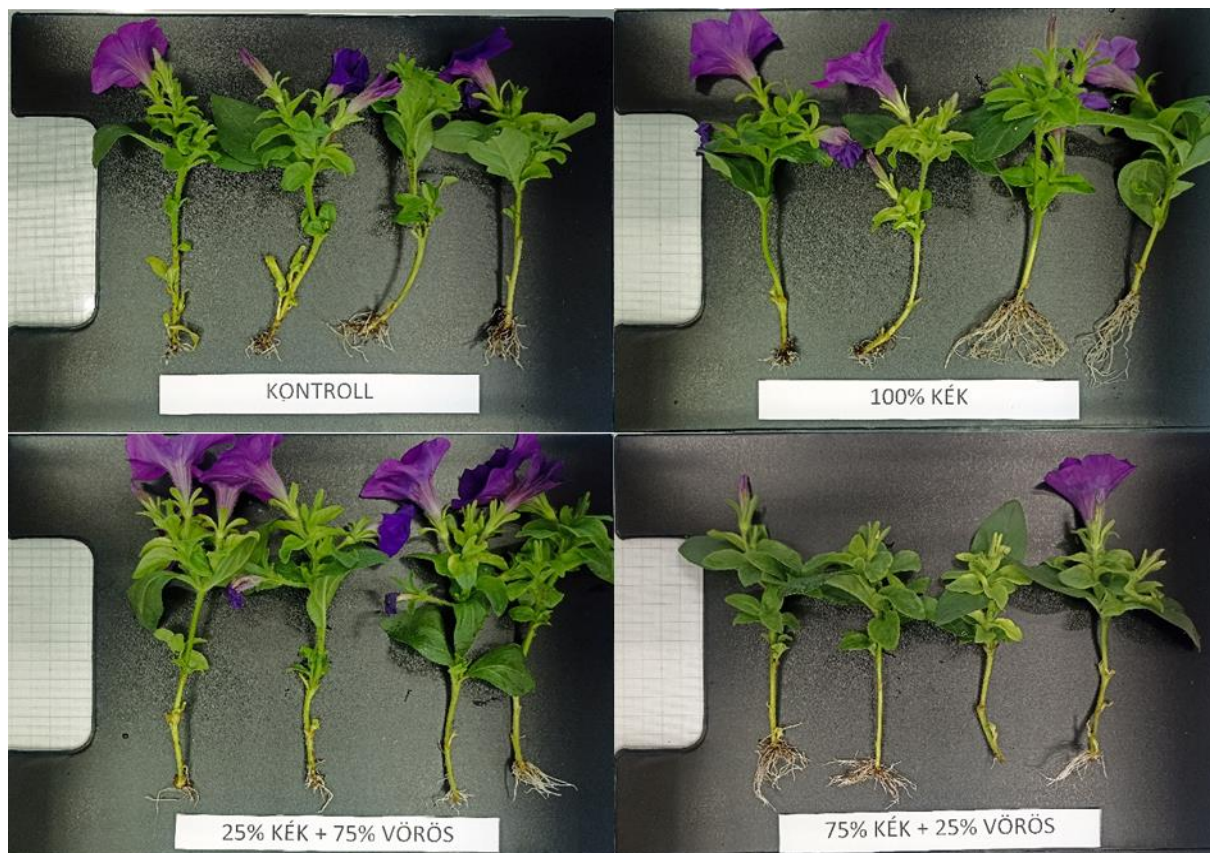
Április 29.-én a növényeket kivettem a fitotronból és a cserepekből majd a maradék közeget víz segítségével eltávolítottam, hogy a növényekről készült képeken jobban kivehetőbbek legyenek a gyökerek. Kezelésként négyesével egymás mellé tettem, majd fényképeket készítettem nagyjából egyforma magasságból, hogy később meg tudjam határozni, hány cm²-t nőttek a gyökerek a májusi adatokhoz képest. Ez után visszaültettem az alanyokat a cserepekbe.

Május 22.-én megismételtem azzal a különbséggel, hogy egyesével készítettem képeket, majd szintén visszaültettem a növényeket a cserepekbe.

A gyökerek méréshez a GIMP nevű programot használtam. Először minden képen lemértem hány képpont egy négyzetcentiméter majd a színarányt úgy állítottam be, hogy megfelelően látszódnak a gyökerek. Ezeket kijelöltem és a kapott képpontokat feljegyeztem, majd

elosztottam a négyzetcentiméterekkel és megszoroztam 100-al, így megkaptam a gyökérfelületeket négyzetmilliméterben.

5. ábra: A gyökérvizsgálat során készült képek 2024.04.29. (fotó: Gábris M.)



6. ábra: A gyökérvizsgálat során készült képek 2024.05.22. (fotó: Mosonyi I.)



Száranyagtartalom vizsgálat és levélfelületmérés

Május 22-én miután kiválasztottam a tálcák közepéről az alanyokat, kezelésként 4 vagyis összesen 16 darabot, lemostam a növények gyökeréről a közeget, leitattam a nedvességet papírral és ezután lemértem a friss tömegüket. A gyökeres hajtásokat ezután ismert tömegű papírzacskókba tettem. A növényeket tartalmazó papírzacskókat tömegállandóságig

szárítottam 105 °C-on egy BINDER ED53 típusú szárítószekrényben. Ezután lemértem a szárazanyagtömeget, azaz a szárított növényeket a papírzacskókkal együtt. A kapott értékekből kivontam a papírzacskók előre megmért tömegét ez alapján megkaptam a növény szárazanyag tömegét. A növények száraztömegének és frisstömegének az adataiból kiszámoltam a szárazanyag %-ot.

A levélfelületméréshez a növények leveleit egyedenként külön felhelyeztem milliméterpapírra, majd beszkenneltem őket. A méréshez a már említett GIMP nevű programot használtam. Négyzetes kijelöléssel kijelöltem egy 10x10-es négyzetet ami 1 cm²-nek felel meg. Hisztogramon megnéztem, a kijelölt terület hány képpont. Ezután szín alapú kijelölési eszközzel kijelöltem a leveleket és szintén hisztogramon megnéztem hány képpont, majd ezeket az adatokat elosztottam a 1 cm²-nél mért képpont értékekkel, így megkaptam, hogy egy növénynek mekkora az összes levélfelülete.

A növények szárazanyagtartalma közvetlen összefüggésben áll a fotoszintézis hatékonyságával, vagyis minél magasabb a szárazanyagtartalom, annál több asszimilátum keletkezett, ami a fokozott fotoszintetikus aktivitásra utal. Az értékek tehát a növények asszimilációs teljesítményének és anyagcseréjének hatékonyságára utalnak.

7. ábra: levélfelületmérés (fotó: Mososnyi I.)



Egyéb vizsgálatok

Májusban egyesével lemértem minden növénynek a magasságát, az elágazásainak számát illetve a virágok számát. Ezeket a kapott adatokat Excelbe felvezettem.

3.4.5. Kísérletek kiértékelése

A kapott adatokat a vizsgálatok után Excelbe (2016) felvezettem, majd táblázatokat készítettem belőle a jobb átláthatósághoz illetve a további számolások, statisztikákhoz és

diagrammokhoz. A klorofill, karotinoid, POD enzimaktivitás, gázcsere nyitottsága és nagysága, gyökérfelület és szárazanyagtartalom elemzéseikhez egytényezős varianciaanalízist alkalmaztam, majd Tukey-féle és Games-Howell-féle páronkénti összehasonlítást. A statisztikai számolásokat az IBM SPSS Statistics (29) szoftverrel készítettem el.

4. Eredmények és következtetések

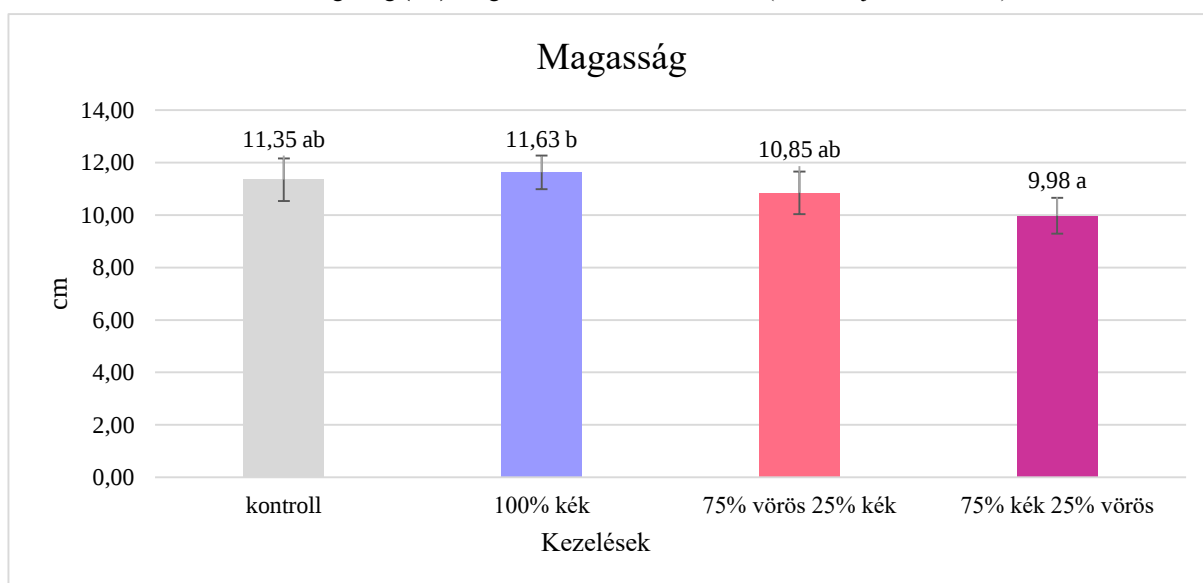
4.1. Morfológiai változások a növényeken

4.1.1. Magasság, elágazások száma és virágszám

A **magasság** tekintetében a 75% kék és 25% vörös (9,98 cm) kezeléshez képest a 100%-ban kék (11,63 cm) fényt kapott növények eredményei szignifikánsan növekedtek, a kontroll (11,35 cm) és 75% vörös és 25% kék (10,85 cm) félynél nincs szignifikáns különbség.

Ezek alapján elmondható, hogy a 100% kék fény hatással van a növekedésre viszont a 75% kék és 25% vörös negatívan befolyásolja a növekedését. A magasságok alakulását a **8. ábra** diagramja mutatja.

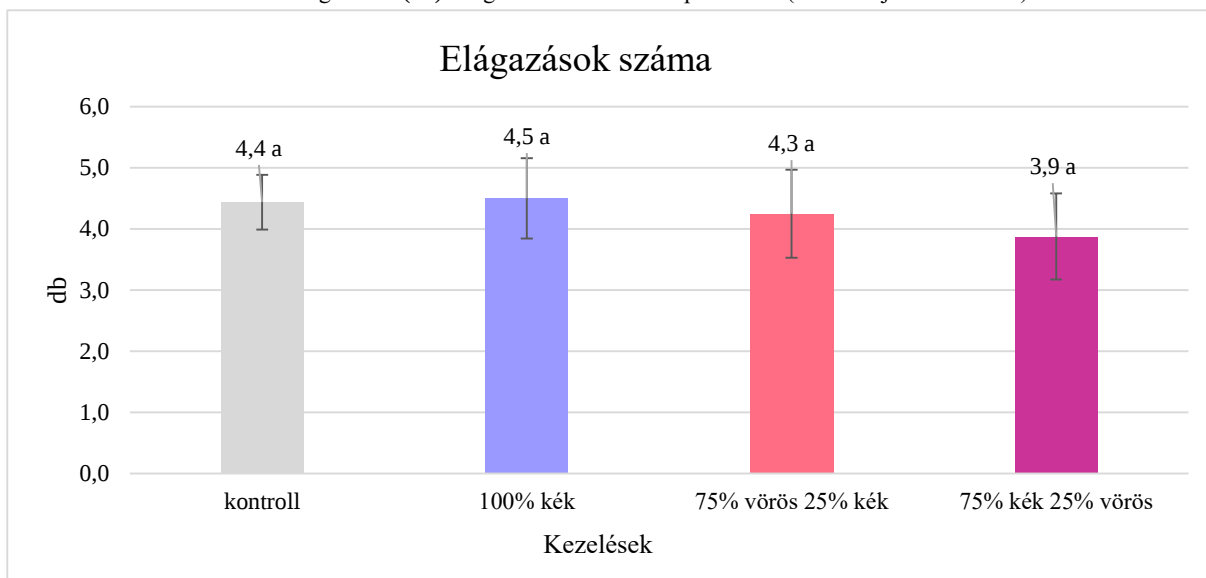
8. ábra: Magasság (cm) átlagok alakulása kezelésenként (forrás: saját szerkesztés)



Az **elágazások** tekintetében a kontroll (4,4 db) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség a 100% kék (4,5 db), a 75% vörös 25% kék (4,3 db) és 75% kék 25% vörös (3,9 db) kezelések között.

Ezek alapján elmondható, hogy nincs különbség a kezelések között. Az elágazások számának alakulását a **9. ábra** diagramja mutatja.

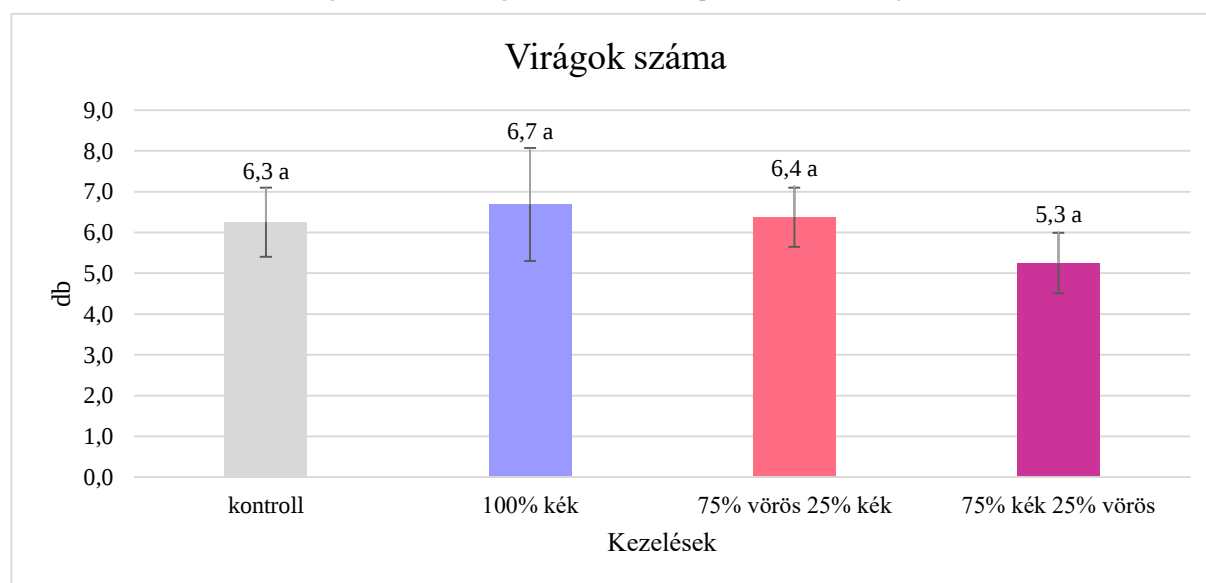
9. ábra: Elágazások (db) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



A **virágok számának** tekintetében a kontroll (6,3 db) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (6,7 db), a 75% vörös 25% kék (6,4 db) és 75% kék 25% vörös (5,3 db) a kezelések között.

Ezek alapján elmondható, hogy nincs különbség a kezelések között. A virágszámok alakulását a **10. ábra** diagramja mutatja.

10. ábra: Virágszámok (db) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

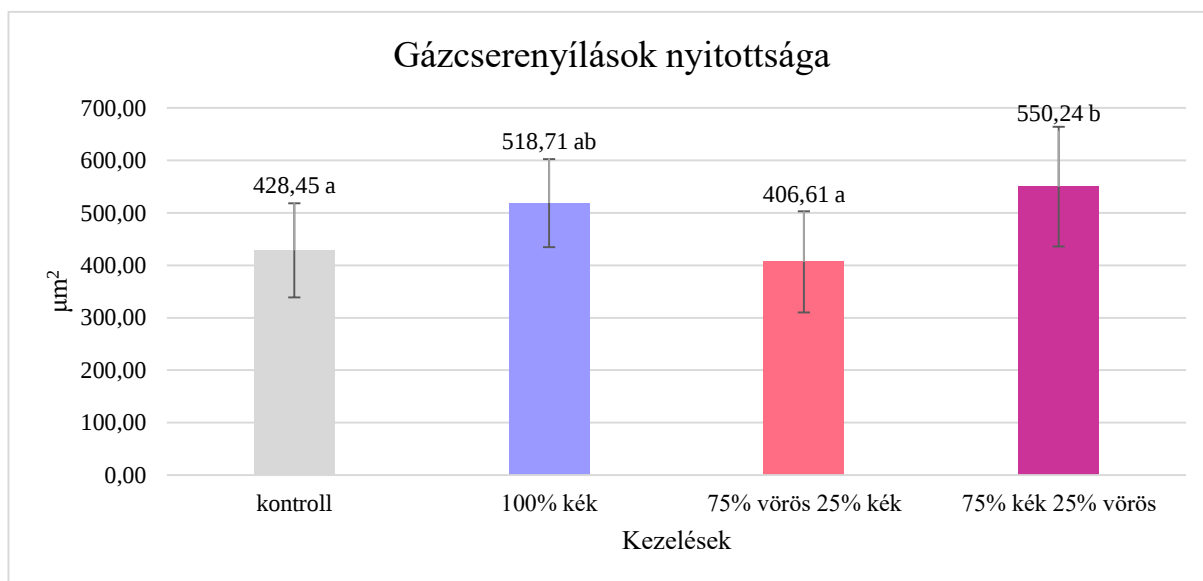


4.1.2. Gázcserenyílásokkal kapcsolatos mérések

Gázcserenyílások nyitottsága és nagysága

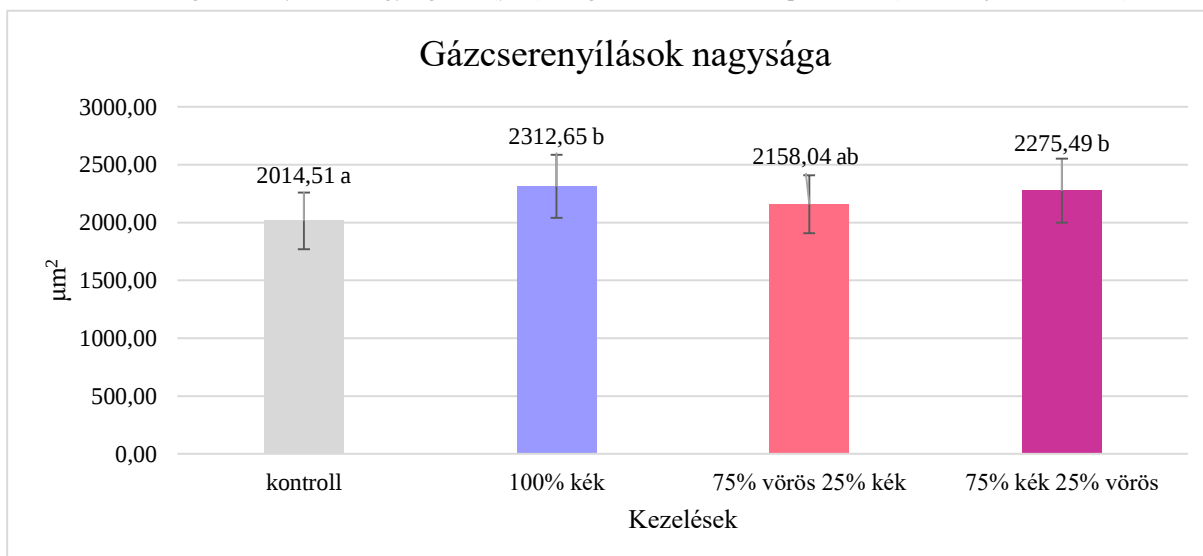
A gázcserenyílások nyitottságának tekintetében a kontroll ($428,45 \mu\text{m}^2$) csoporthoz képest a 75% kék és 25% vörös kezelés hatására nőtt a gázcserenyílások nyitottsága. 100% kék ($518,71 \mu\text{m}^2$) és a 75% vörös 25% kék ($406,61 \mu\text{m}^2$) kezelésnél nincs szignifikáns különbség a kontroll csoporthoz képest. A gázcserenyílások nyitottságának alakulását a **11. ábra** diagramja mutatja.

11. ábra: gázcserenyílások nyitottságának (μm^2) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



A gázcserenyílások területének tekintetében a kontroll ($2014,51 \mu\text{m}^2$) csoporthoz képest a 100% kék ($2312,65 \mu\text{m}^2$) és 75% kék 25% ($2275,49 \mu\text{m}^2$) vörös kezelés hatására megnőtt a gázcserenyílások területe, viszont a 75% vörös és 25% kék ($2158,04 \mu\text{m}^2$) kezelésnél nem volt szignifikáns különbség. A gázcserenyílások nagyságának alakulását a **12. ábra** diagramja mutatja.

12. ábra: gázcserenyílások nagyságának (μm^2) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



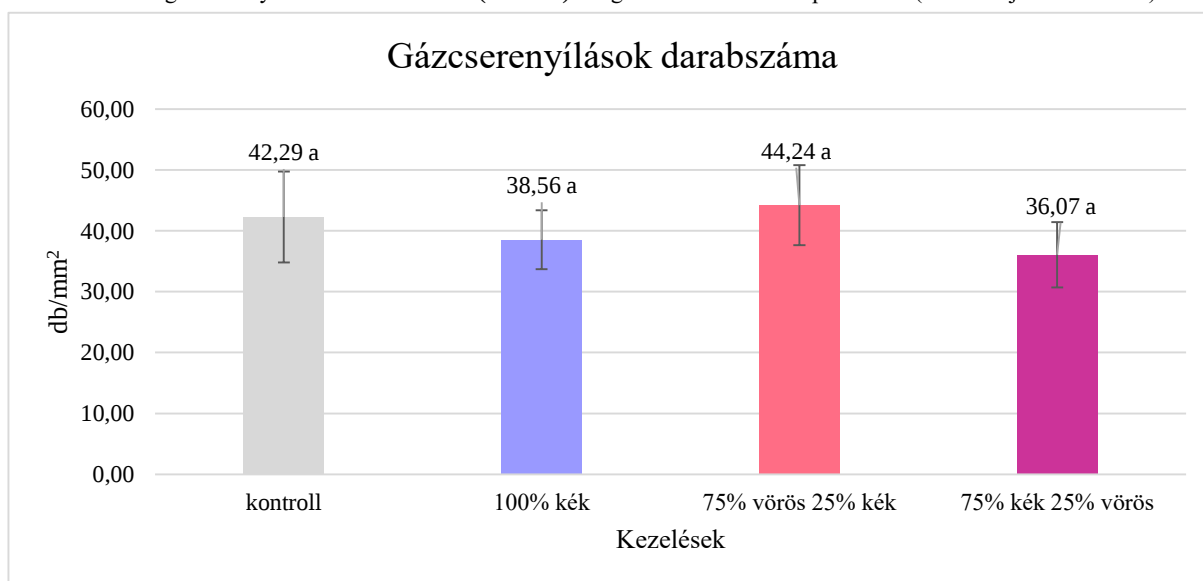
Ezek alapján elmondható, hogy a 100% kék fény esetében nem volt hatással a nyitottságra, de gázcsereenyílások területére igen. A 75% vörös és 25% kék hatására nem volt szignifikáns különbség egyik vizsgált tényezőnél sem. 75% kék és 25% vörös kezelés során nyitottabbak voltak a gázcsereenyílások illetve nőtt a sztómák területe is. A több kék fényt kapott kezeléseknél nőtték a legnagyobb mértékben a gázcsereenyílások, ezáltal következtethetünk arra, hogy a kék fény nagyban befolyásolhatja a gázcsereenyílások nagyságát.

Gázcsereenyílások darabszáma

A gázcsereenyílások darabszámának tekintetében a kontroll (42,29 db/mm²) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (38,56 db/mm²), a 75% vörös 25% kék (44,24 db/mm²) és 75% kék 25% vörös (36,07 db/mm²) a kezelések között. A gázcsereenyílások db/mm² alakulását a **13. ábra** diagramja mutatja.

Ezek alapján elmondható, hogy a sűrűségekre nincsenek hatással a kezelések.

13. ábra: gázcsereenyílások darabszámának (db/mm²) átlaga kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

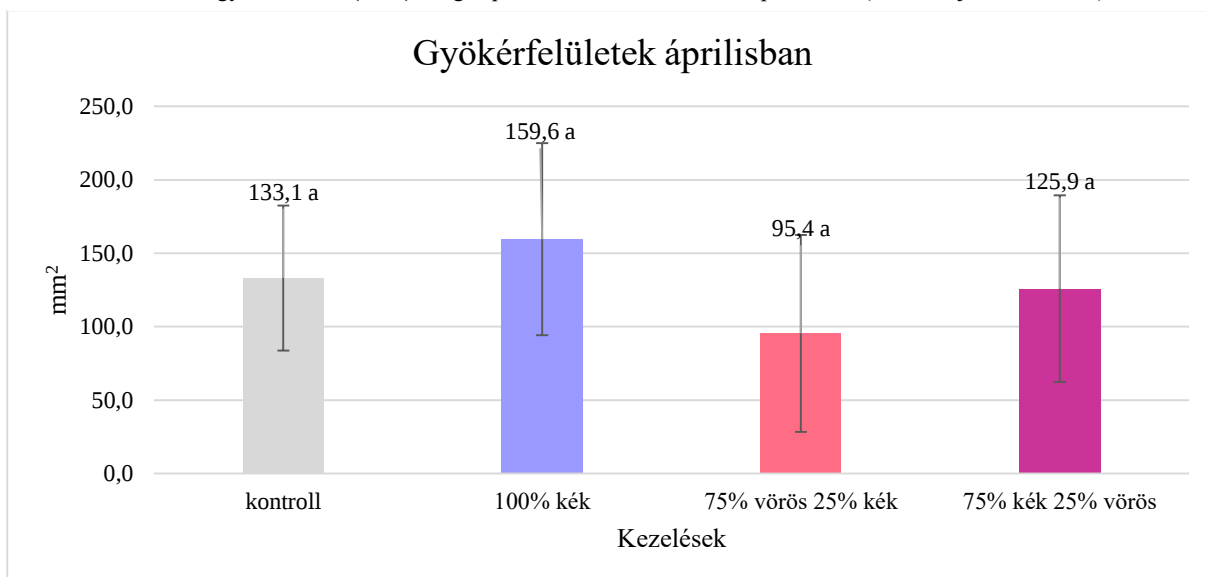


4.1.3. Gyökérfelületmérések

A gyökérfelületmérés tekintetében az **első** méréseknél a kontroll (133,1 mm²) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (159,6 mm²), a 75% vörös 25% kék (95,4 mm²) és 75% kék 25% vörös (125,9 mm²) a kezelések között. A gyökérfelületek áprilisi alakulását a **14. ábra** diagramja mutatja.

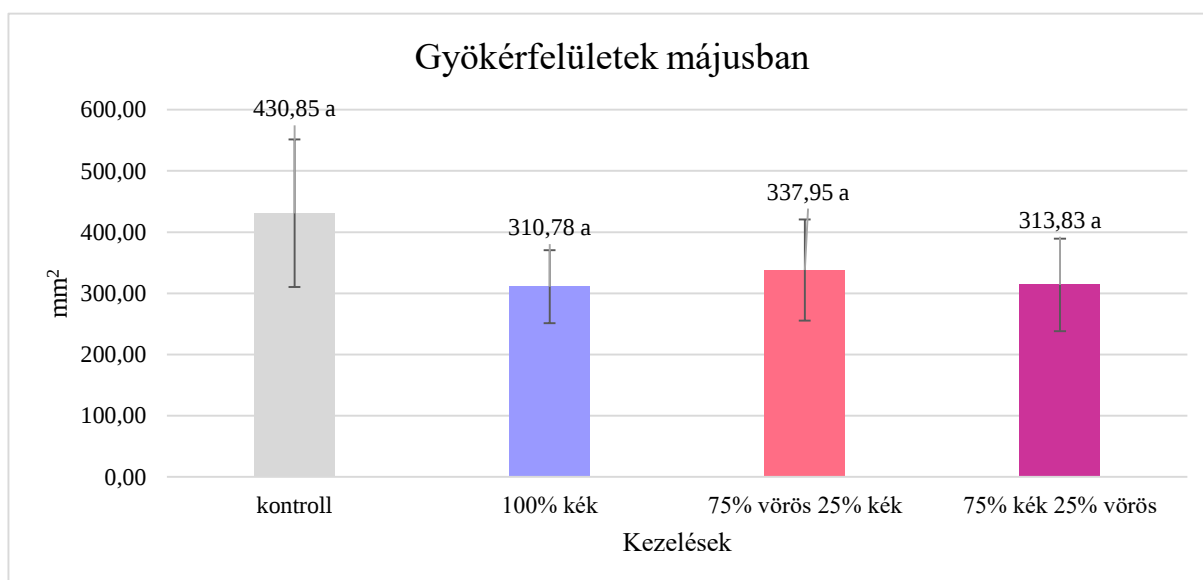
Ezek alapján elmondható, hogy nincsenek hatással a különböző kezelések a gyökérfelületek változásához.

14. ábra: gyökérfelület (mm^2) átlaga áprilisban, kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



A gyökérfelületmérés tekintetében a **második** méréseknél a kontroll ($430,85 \text{ mm}^2$) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék ($310,78 \text{ mm}^2$), a 75% vörös 25% kék ($337,95 \text{ mm}^2$) és 75% kék 25% vörös ($313,83 \text{ mm}^2$) a kezelések között. A gyökérfelületek májusi alakulását a **15. ábra** diagramja mutatja.

15. ábra: gyökérfelület (mm^2) átlaga májusban, kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

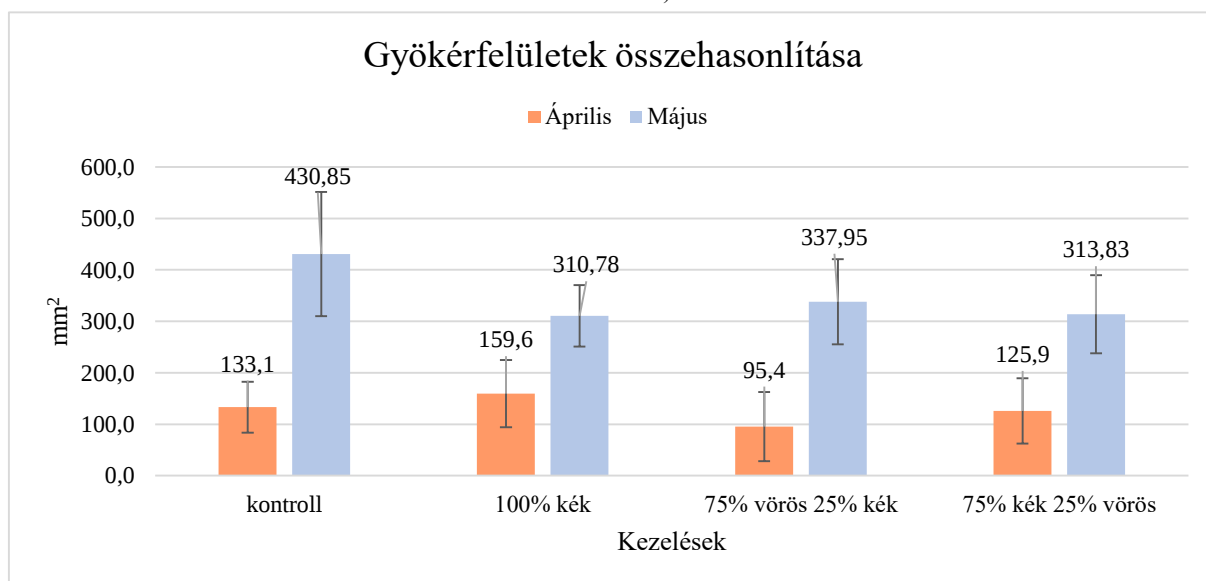


Összehasonlítva a kettő időpontban mért adatokat, megfigyelhető, hogy a kontroll csoportnál mért gyökérfelület háromszorosára nőtt az első vizsgálathoz képest. 100% kék kezelés hatására kétszeresére nőtt a gyökérfelület. Továbbá megállapítható, hogy első mérésnél a legmagasabb érték az a 100% kék fény esetében volt, viszont a második mérésnél ennél a kezelésnél volt a legalacsonyabb az érték. 75% vörös és 25% kék kezelés esetében három és félszeresére nőtt a

gyökérfelülete a növényeknek. Az első méréseknél ennek a kezelésnek az értéke volt a legalacsonyabb, viszont a második mérésnél ez az érték volt majdnem a legmagasabb, ami arra enged következtetni, hogy rövidtávon gátolhatja, viszont hosszabb távon elősegítheti a gyökeresedést. 75% kék és 25% vörös kezelés hatására két és félszeresére nőtt a gyökérfelület az első méréshez képest. Ezek alapján a mérések alapján megfigyelhető, hogy bár szignifikánsan egyik mérésnél sem volt különbség mégis látható változásokat észlelhetünk. Szeretném kiemelni azt, hogy a kontroll növények gyökérfelület változás volt a legmagasabb, a 100% kék kezelésnél viszont a legalacsonyabbat tapasztaltuk. Mind ezek mellett az is megfigyelhető, ahol a növények nagyobb arányban kaptak kék fényt, azoknál a gyökérfelületek második mérésnél kisebb értékeket mutattak, vagyis valószínűsíthető, hogy a kék fény gátolhatja a gyökeresedést.

A gyökérfelületek összehasonlítását a **16. ábra** diagramja mutatja.

16. ábra: gyökérfelületek (mm²) átlagának összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



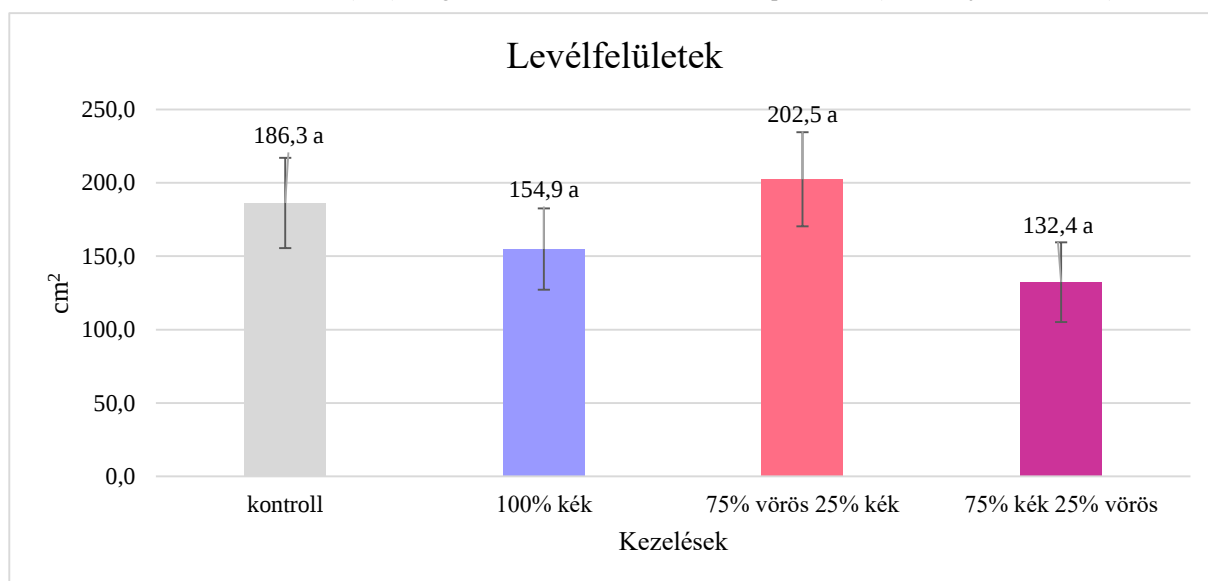
4.1.4. Levélfelületmérés

A **levélfelületmérés** tekintetében a kontroll (186,3 cm²) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (154,9 cm²), a 75% vörös 25% kék (202,5 cm²) és 75% kék 25% vörös (132,4 cm²) a kezelések között. A levélfelületek alakulását a **17. ábra** diagramja mutatja.

Ezek alapján elmondható, hogy a kezelések nincsenek hatással a levélfelületek nagyságára. Viszont az elmondható a diagram által, hogy a 100% kék fény és a 75% kék és 25% vörös fény esetében csökkentek az értékek a kezelések által, vagyis a kék fény kis mértékben befolyásolhatja a vizsgált tényezőket. Illetve, a 75% vörös és 25% kék fény esetében is

láthatunk változást a diagram vizsgálatával. Megfigyelhető, hogy a 75% vörös és 25% kék fény hatására kis mértékben növekedtek a vizsgált tényezők.

17. ábra: levélfelületek (cm²) átlagának alakulása kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

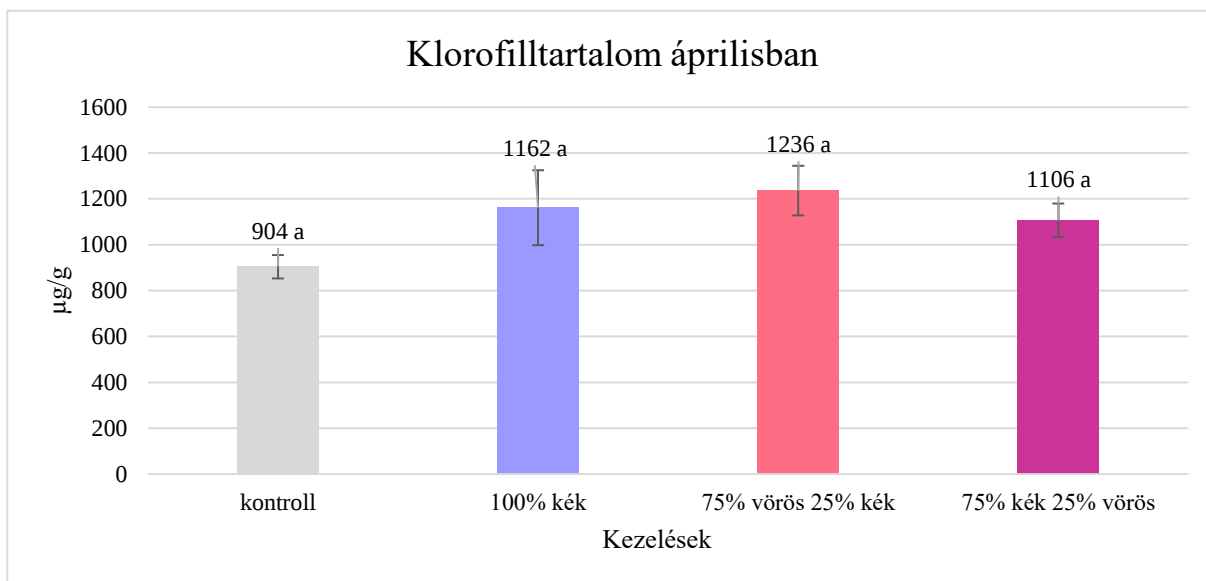


4.2 Beltartalmi változások a növényekben

4.2.1. Klorofill- és karotinoidtartalom

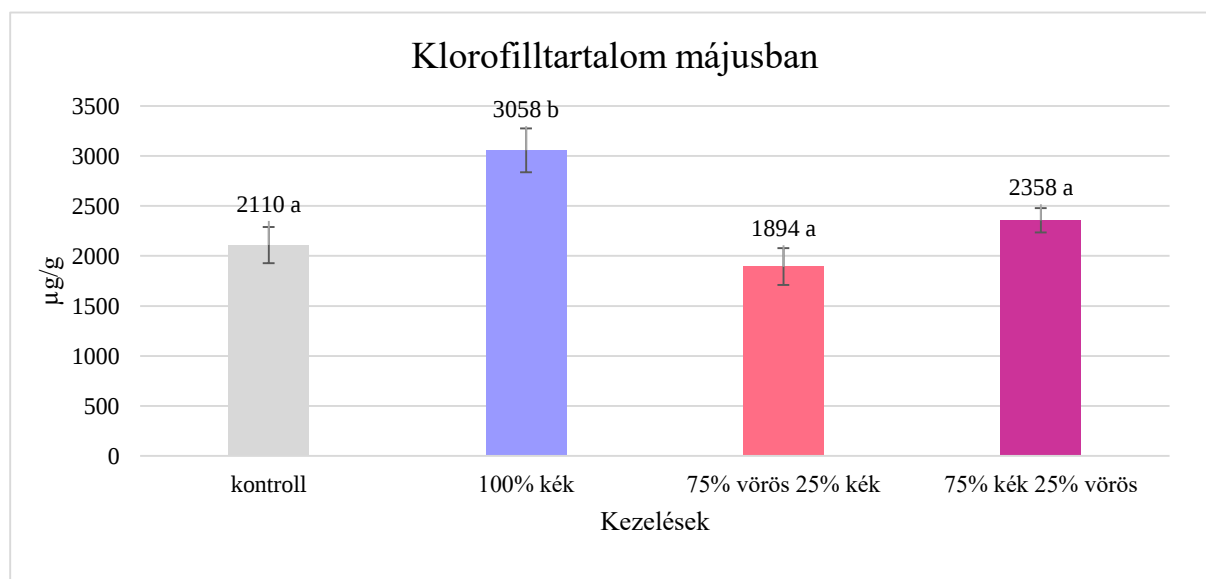
A klorofilltartalom tekintetében az első méréseknél a kontroll (904 $\mu\text{g/g}$) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (1162 $\mu\text{g/g}$), a 75% vörös 25% kék (1236 $\mu\text{g/g}$) és 75% kék 25% vörös (1106 $\mu\text{g/g}$) a kezelések között. Az áprilisi klorofilltartalom alakulását a 18. ábra diagramja mutatja.

18. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok áprilisban alakulása kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



A második alkalommal mért adatoknál a kontroll (2110 $\mu\text{g/g}$) csoporthoz képest a 100% kék fény (3058 $\mu\text{g/g}$) hatására szignifikánsan nőtt a klorofilltartalom, a 75% vörös 25% kék (1894 $\mu\text{g/g}$) és 75% kék és 25% vörös (2358 $\mu\text{g/g}$) fényeknél nincs szignifikáns különbség. A májusi klorofilltartalom alakulását a 19. ábra diagramja mutatja.

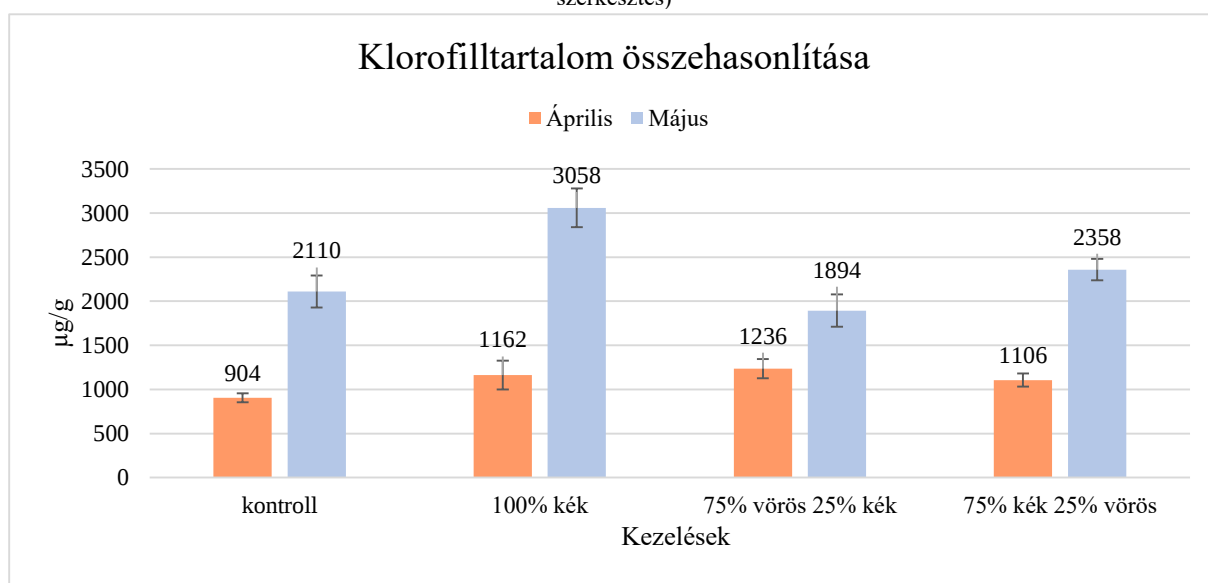
19. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása májusban kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



Összehasonlítva a kettő időpontban mért adatokat, megfigyelhető, hogy a kontroll csoportnál mért klorofilltartalom több mint kétszeresére nőtt. 100% kék kezelés hatására majdnem háromszorosára nőtt a klorofilltartalom mértéke az első méréshez képest. 75% vörös és 25% kék kezelés esetében másfélszeresére nőtt a klorofilltartalom. 75% kék és 25% vörös kezelésnél szintén a kétszeresére nőtt a klorofilltartalom. A klorofilltartalom összehasonlított alakulását a **20. ábra** diagramja mutatja.

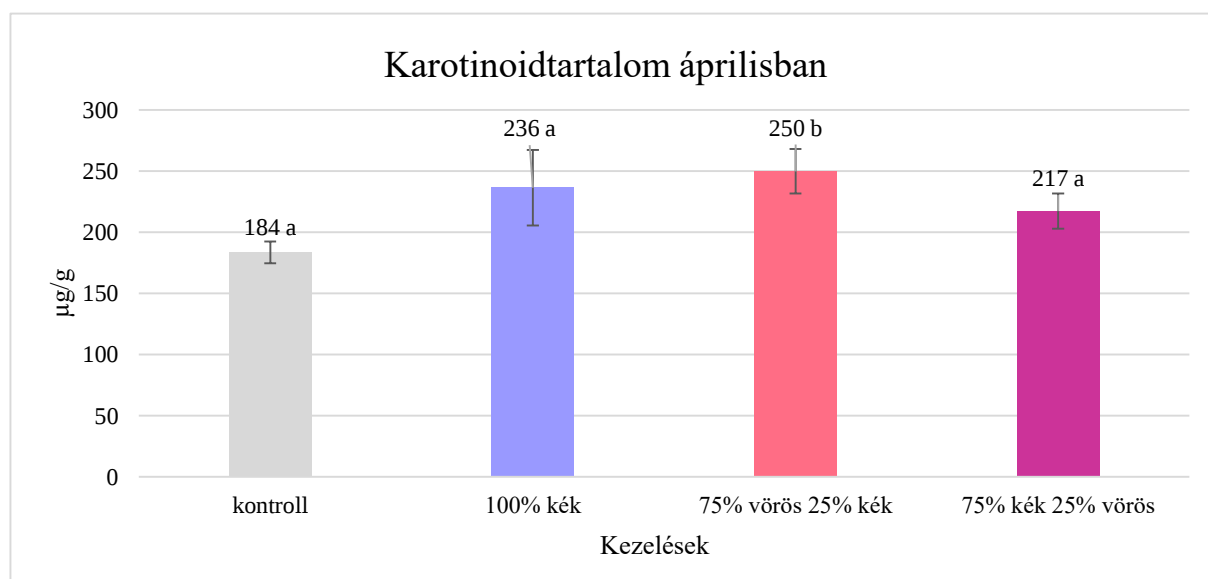
A diagram alapján elmondható, hogy a kék fény befolyásolhatja a klorofilltartalmat a 'Kumbaya lilac blue' esetében.

20. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



A **karotinoidtartalom** tekintetében az **első** méréseknél a kontroll ($184 \mu\text{g/g}$) csoporthoz képest az 75% vörös és 25% kék ($250 \mu\text{g/g}$) kezelés hatására nőtt a karotinoidtartalom. A 100%

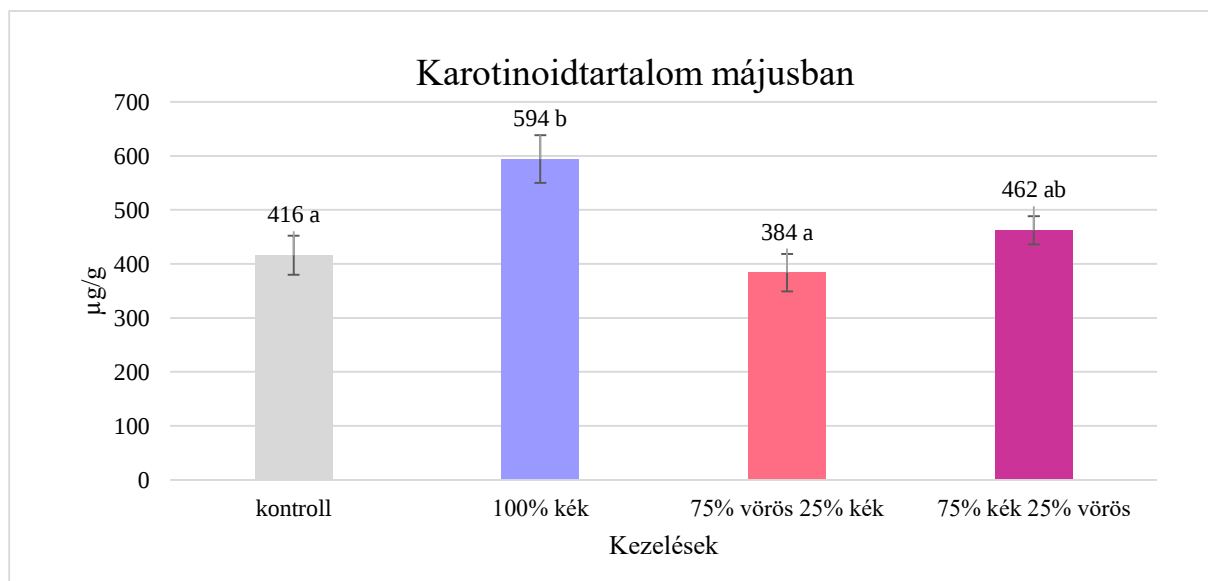
21. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása áprilisban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



kék (236 $\mu\text{g/g}$) és 75% kék 25% vörös (217 $\mu\text{g/g}$) kezeléseknél nincs szignifikáns különbség. Az áprilisi karotinoidtartalom alakulását a **21. ábra** diagramja mutatja.

A **második** alkalommal mért adatoknál a kontroll (416 $\mu\text{g/g}$) csoporthoz képest nőtt a karotinoidtartalom 100% kék (594 $\mu\text{g/g}$) kezelés hatására. A 75% vörös és 25% kék (384 $\mu\text{g/g}$) és a 75% kék és 25% vörös (462 $\mu\text{g/g}$) kezelések hatására nincs szignifikáns különbség. A májusi karotinoidtartalom alakulását a **22. ábra** mutatja.

22. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása májusban kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

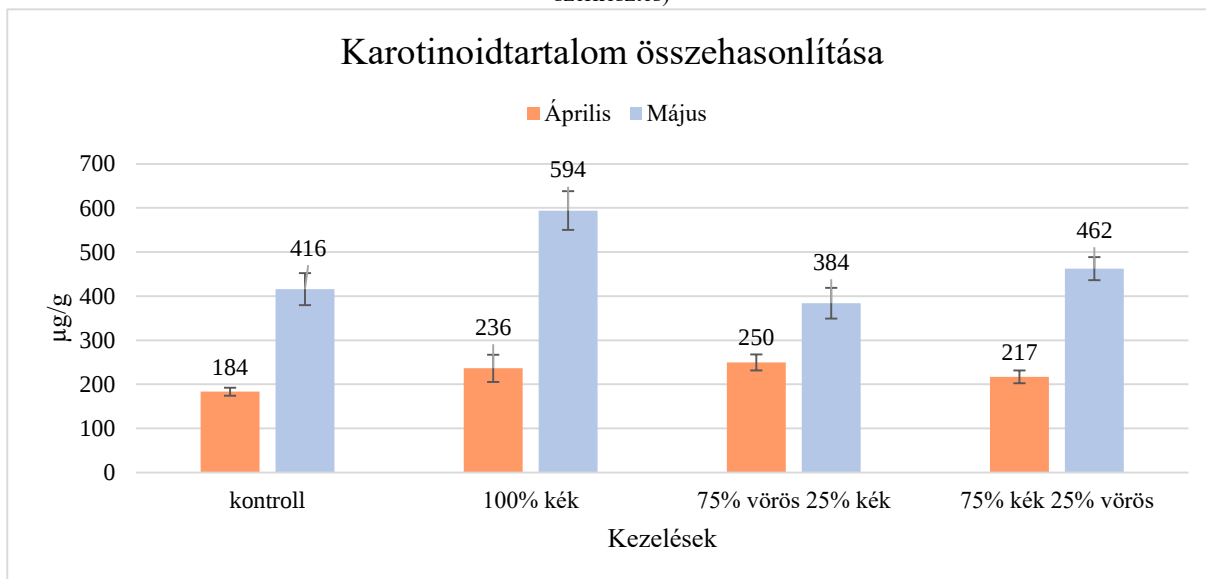


Ezek alapján elmondható, hogy az első mérésnél megnövekedett a karotinoidtartalom a 75% vörös és 25% kék kezelés esetében, viszont a májusban mért eredményeknél a kontroll csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség, így következtethetünk arra, hogy hosszú távon nincs különbség a karotinoidtartalom függvényében ennél a kezelésnél. Viszont hosszútávon a 100% kék fény nagyban befolyásolja a karotinoidtartalmat.

Összehasonlítva a kettő időpontban mért adatokat, megfigyelhető, hogy a kontroll csoportnál mért karotinoidtartalom a kétszeresére nőtt. A 100% kék kezelésnél két és félszeresére nőtt a karotinoidtartalom mértéke az első mérésnél kapott adatokhoz képest. 75% vörös és 25% kék kezelés esetében, nem történt nagyobb mértékű változás, a kontroll csoporttal összehasonlítva csak másfélszeresével nőtt, vagyis arányaiban csökkent a karotinoidtartalom növekedése. Ebből kifolyólag következtethetünk arra, hogy a vörös fény csökkentheti a karotinoidtartalmat hosszútávon, hiába mértük az első méréseknél szignifikánsan nagyobb értéket. 75% kék és 25% vörös kezelésnél körülbelül a kétszeresére nőtt a karotinoidtartalom az első mérésnél kapott adatokhoz képest. Összességében elmondható a diagram alapján, hogy azok a kezelések, amik

kék fényt tartalmaztak, megnövelték a karotinoidtartalmat a növényekben. A karotinoidtartalom összehasonlított alakulását a **23. ábra** diagramja mutatja.

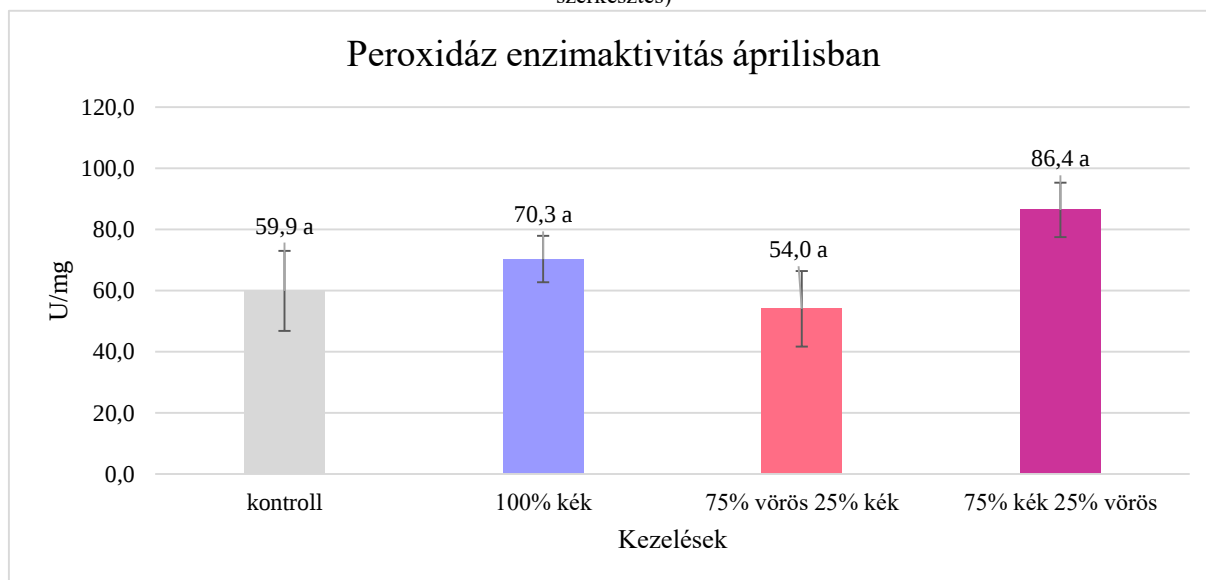
23. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



4.2.2. Peroxidáz (POD) enzimaktivitás

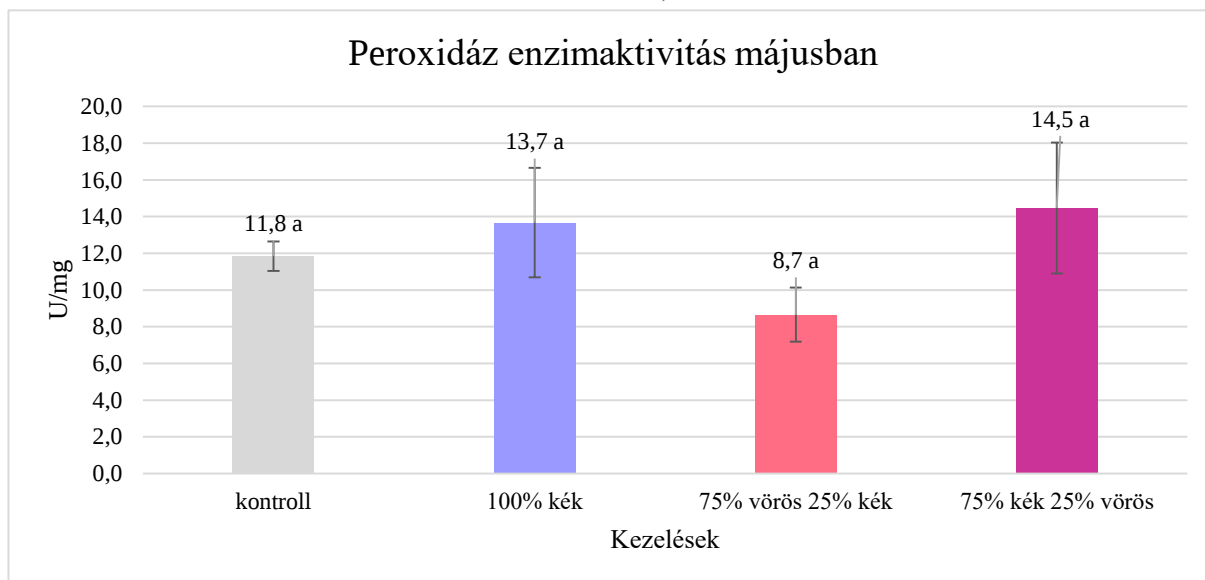
A peroxidáz enzimaktivitás mérés tekintetében az **első** méréseknél a kontroll (59,9 U/mg) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (70,3 U/mg), a 75% vörös 25% kék (54,0 U/mg) és 75% kék 25% vörös (86,4 U/mg) a kezelések között. Az áprilisi peroxidáz enzimaktivitás alakulását a **24. ábra** diagramja mutatja.

24. ábra: peroxidáz emzimaktivitás (U/mg) átlagok alakulása áprilisban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



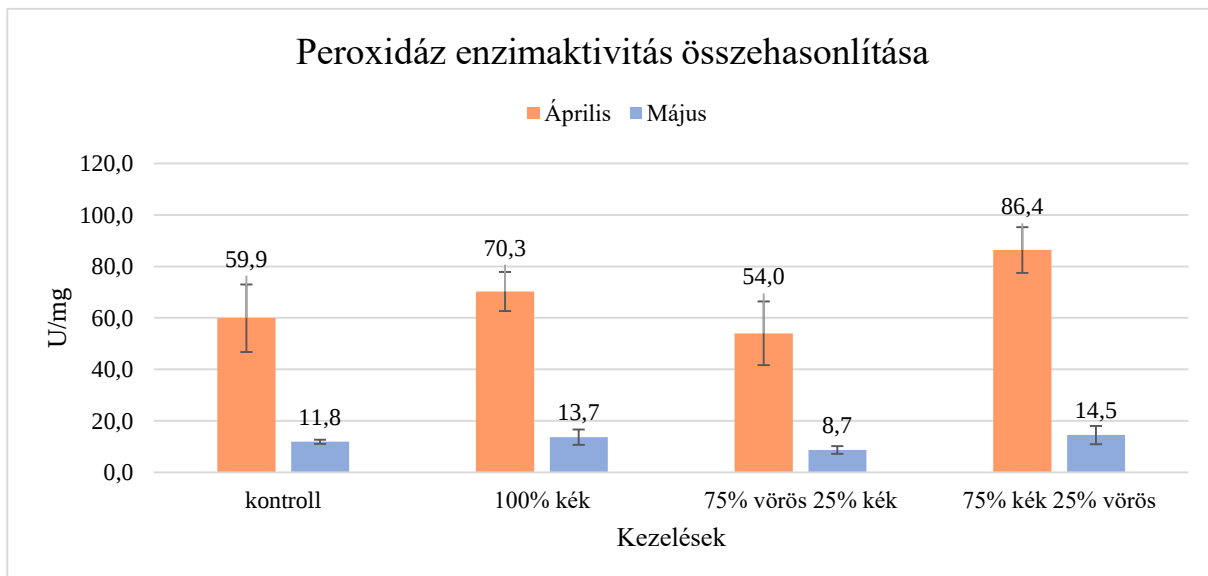
A **második** alkalommal mért adatoknál a kontroll (11,8 U/mg) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (13,7 U/mg), a 75% vörös 25% kék (8,7 U/mg) és 75% kék 25% vörös (14,5 U/mg) a kezelések között. A májusi peroxidáz enzimaktivitás alakulását a **25. ábra** diagramja mutatja.

25. ábra: peroxidáz enzimaktivitás (U/mg) átlagok alakulása májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



Összehasonlítva a kettő időpontban mért adatokat, megfigyelhető, hogy a kontroll csoportnál a mért peroxidáz enzimaktivitás ötödére csökkent. 100% kék kezelés esetében is ötödére csökkent a második alkalommal mért peroxidáz enzimaktivitás, az első alkalomhoz képest. 75% vörös és 25% kék kezelés és a 75% kék és 25% vörös kezelés hatására hatodára csökkent a peroxidáz enzimaktivitás mindkét esetben. Mind ezek ellenére a statisztikák alapján elmondható, hogy a kezelések nem voltak hatással a növények peroxidáz enzimaktivására.

26. ábra: peroxidáz enzimaktivitás (U/mg) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)

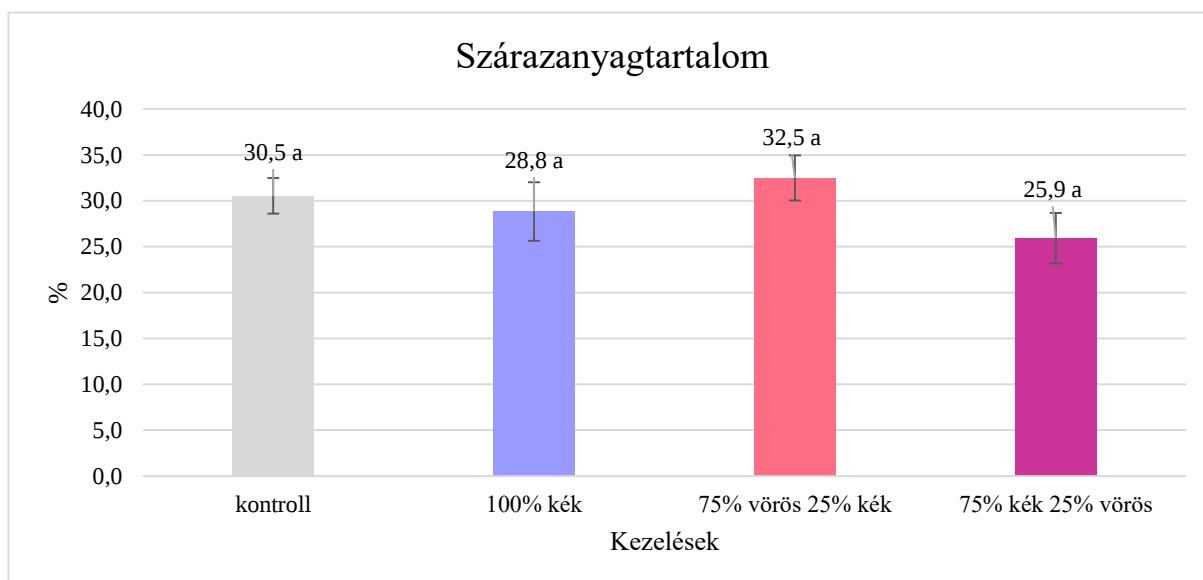


Viszont, a diagram jól szemlélteti, hogy a két vizsgált időpont között hatalmas különbség figyelhető meg. Megfigyelhető az is, hogy az a kezelés amelyik, 75% kéket és 25% vöröset tartalmazott, mindkettő mérésnél magasabb értékeket mutatott. Emellett elmondható, hogy ennél a vizsgálatnál is, a kék fényt tartalmazott kezelések magasabb értékeket mutatnak, vagyis gyengén, de befolyásolhatja a peroxidáz enzimaktivitást. A peroxidáz enzimaktivitás összehasonlított alakulását a **26. ábra** diagramja mutatja.

4.2.3. Szárazanyagtartalom vizsgálat

A **szárazanyagtartalom** vizsgálatának tekintetében a kontroll (30,5%) csoporthoz képest nincs szignifikáns különbség 100% kék (28,8%), a 75% vörös 25% kék (32,5%) és 75% kék 25% vörös (25,9%) a kezelések között. A szárazanyagtartalom alakulását a **27. ábra** diagramja mutatja.

27. ábra: szárazanyagtartalom (%) átlagok alakulása kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)



5. Összefoglalás

Az általam lefolytatott kísérlet célja volt a vörös és kék, illetve kizárólag kék LED technológia alapú világító rendszerek alkalmazása során *Petunia* 'Kuyamba lilac blue' növényen tapasztalt változások megfigyelése, feljegyzése és a mért adatok kiértékelése. A munkám során a klorofill-, karotinoid- és szárazanyagtartalom, peroxidáz enzimaktivitás, gázcserenyílásokra gyakorolt hatás, gyökérfelület mérés, illetve a növények magassága, elágazások és virágszámának megfigyelése volt. A kísérletben pótmegvilágításként alkalmaztam 100% kék, 75% vörös és 25% kék illetve 75% kék és 25% vörös LED fényeket.

A vizsgálataim során arra következtetésre jutottam, hogy a 100% kék fény alkalmazása során több szempontnál mértem nagyobb mértékű változásokat a kontroll növényekhez képest. Jelentősen növekedtek az értékek a magasságnál, második mérésnél a klorofill-, és karotinoidtartalom és a gázcserenyílások nyitottságában.

Továbbá megfigyelhető volt, hogy a 75% vörös és 25% kék fény esetében csak az első karotinoid mérésnél volt kimutatható növekedés.

Azonban a 75% kék és 25% vörös fény használata során arra lettem figyelmes, hogy a kontrollhoz képest negatívan befolyásolta a magasságot, viszont a gázcserenyílások területe és azok nyitottságának tekintetében nőttek az értékek.

Viszont az alkalmazott kezelések egyike sem volt hatással az elágazások -, és virágok számára, az első mérésnél a klorofilltartalomra, a peroxidáz enzimaktivitásra, a gázcserenyílások darabszámára, a gyökérfelületekre, a szárazanyagtartalomra és a levélfelületre.

Összességében elmondható, hogy a *Petunia* 'Kuyamba lilac blue'-n vizsgált több tényezőnél jobb hatást lehet elérni, ha nagyobb arányban használják a kék fényt, mint pótmegvilágítás.

6. Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani konzulenseimnek Dr. Honfi Péter tanszékvezetőnek, hogy lehetővé tette a kísérleteim elvégzését a Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék laboratóriumában és Dr. Mosonyi István Dánielnek a rengeteg segítségéért és türelméért, illetve a LED fények biztosításáért.

Meg szeretném köszönni édesanyámnak a sok szeretet és érzelmi támogatást, édesapámnak, hogy ihletet adott a témaválasztáshoz, illetve a családom többi tagjának a biztatást és az együttérzést az egyetemi tanulmányaimmal kapcsolatban.

Szeretném külön megköszönni Zsigovics Brigittának, akivel az évek alatt kitartottunk egymás mellett és támogattuk a másikat a számonkérések és a vizsgák során. A többi barátomnak is köszönöm a sok segítséget.

7. Irodalomjegyzék

1. Algeier Wendy, szerk. „Jobb, gyorsabban”. Kertészet és Szőlészet 60, sz. 31. (2011. június 19.): 20.
2. Algeier Wendy, ford. „LED-lámpák a gyakorlatban”. Kertészet és Szőlészet 60., sz. 9. (2011. március 2.): 25–26.
3. Bantis, Filippas, Sonia Smirnakou, Theoharis Ouzounis, Athanasios Koukounaras, Nikolaos Ntagkas, és Kalliopi Radoglou. „Current status and recent achievements in the field of horticulture with the use of light-emitting diodes (LEDs)”. *Scientia Horticulturae* 235 (2018. május 17.): 437–51.
[HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCIENTA.2018.02.058](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.02.058).
4. Blaauw, O. H., és G. Blaauw-Jansen. „The Phototropic Responses of Avena Coleoptiles”. *Acta Botanica Neerlandica* 19, sz. 5 (1970. január 1.): 755–63.
5. Bourget, C. Michael. „An Introduction to Light-Emitting Diodes”. *HortScience* 43, sz. 7 (2008. december 1.): 1944–46. [HTTPS://DOI.ORG/10.21273/HORTSCI.43.7.1944](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.7.1944).
6. Brown, Christopher, Andrew Schuerger, és John Sager. „Growth and photomorphogenesis of pepper plants under red LEDs with supplemental blue or far-red lighting”. *Journal of the American Society for Horticultural Science. American Society for Horticultural Science* 120 (1995. október 1.): 808–13.
[HTTPS://DOI.ORG/10.21273/JASHS.120.5.808](https://doi.org/10.21273/JASHS.120.5.808).
7. Chaves, Inês, Richard Pokorny, Martin Byrdin, Nathalie Hoang, Thorsten Ritz, Klaus Brettel, Lars-Oliver Essen, Gijsbertus T. J. van der Horst, Alfred Batschauer, és Margaret Ahmad. „The Cryptochromes: Blue Light Photoreceptors in Plants and Animals”. *Annual Review of Plant Biology* 62, sz. Volume 62, 2011 (2011. június 2.): 335–64. [HTTPS://DOI.ORG/10.1146/ANNUREV-ARPLANT-042110-103759](https://doi.org/10.1146/ANNUREV-ARPLANT-042110-103759).
8. Chen, Meng, Joanne Chory, és Christian Fankhauser. „Light Signal Transduction in Higher Plants”. *Annual Review of Genetics* 38, sz. Volume 38, 2004 (2004. december 15.): 87–117. [HTTPS://DOI.ORG/10.1146/ANNUREV.GENET.38.072902.092259](https://doi.org/10.1146/ANNUREV.GENET.38.072902.092259).
9. Cope, Kevin R., és Bruce Bugbee. „Spectral Effects of Three Types of White Light-Emitting Diodes on Plant Growth and Development: Absolute versus Relative Amounts of Blue Light”. *HortScience* 48, sz. 4 (2013. április 1.): 504–9.
[HTTPS://DOI.ORG/10.21273/HORTSCI.48.4.504](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.48.4.504).
10. Downs, R. J. „Photoreversibility of Flower Initiation. 1”. *Plant Physiology* 31, sz. 4 (1956. július): 279–84.

11. Fukuda, N., Y. Ishii, H. Ezura, és J.E. Olsen. „EFFECTS OF LIGHT QUALITY UNDER RED AND BLUE LIGHT EMITTING DIODES ON GROWTH AND EXPRESSION OF FBP28 IN PETUNIA”. *Acta Horticulturae*, sz. 907 (2011. szeptember): 361–66. [HTTPS://DOI.ORG/10.17660/ACTAHORTIC.2011.907.59](https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2011.907.59).
12. Fylladitakis, Emmanouil D. „Controlled LED Lighting for Horticulture: A Review”. *Open Journal of Applied Sciences* 13, sz. 2 (2023. február 8.): 175–88. [HTTPS://DOI.ORG/10.4236/OJAPPS.2023.132014](https://doi.org/10.4236/OJAPPS.2023.132014).
13. Gautam, Pramod. „Effect of Light Quality in the Regulation of Morphology and Flowering of Petunia (Petunia Hybrida)”. 65. Master thesis, Norwegian University of Life Sciences, Ås, 2012. [HTTPS://NMBU.BRAGE.UNIT.NO/NMBU-XMLUI/HANDLE/11250/189466](https://nmbu.brage.unit.no/nmbu-xmlui/handle/11250/189466).
14. Gautam, Pramod, Meseret Tesema Terfa, Jorunn Elisabeth Olsen, és Sissel Torre. „Red and blue light effects on morphology and flowering of Petunia × hybrida”. *Scientia Horticulturae* 184 (2015. március 5.): 171–78. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCIENTA.2015.01.004](https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.01.004).
15. Gerald F. Deitzer, Rebecca Hayes, és Merten Jabben. „Kinetics and Time Dependence of the Effect of Far Red Light on the Photoperiodic Induction of Flowering in Wintex Barley 1”. *Plant Physiology* 64, sz. 6 (1979. december 1.): 1015–21. [HTTPS://DOI.ORG/10.1104/PP.64.6.1015](https://doi.org/10.1104/pp.64.6.1015).
16. Goins, Gregory D., Neil C. Yorio, Monica M. Sanwo-Lewandowski, és Christopher S. Brown. „LIFE CYCLE EXPERIMENTS WITH ARABIDOPSIS GROWN UNDER RED LIGHT-EMITTING DIODES (LEDs)”. *Life Support & Biosphere Science* 5, sz. 2 (1998. január 1.): 143–49.
17. Haliapas, Sotiris, Traianos A. Yupsanis, Thomas D. Syros, George Kofidis, és Athanasios S. Economou. „Petunia × Hybrida during Transition to Flowering as Affected by Light Intensity and Quality Treatments”. *Acta Physiologiae Plantarum* 30, sz. 6 (2008. november 1.): 807–15. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S11738-008-0185-Z](https://doi.org/10.1007/s11738-008-0185-z).
18. Heo, Jeong Wook, Chun Woo Lee, H.N. Murthy, és Kee Yoeup Paek. „Influence of Light Quality and Photoperiod on Flowering of Cyclamen Persicum Mill. Cv. ‘Dixie White’”. *Plant Growth Regulation* 40, sz. 1 (2003. május 1.): 7–10. [HTTPS://DOI.ORG/10.1023/A:1023096909497](https://doi.org/10.1023/A:1023096909497).
19. Hoenecke, M.E., R.J Bula, és T.W. Tibbitts. „Importance of ‘Blue’ Photon Levels for Lettuce Seedlings Grown under Red-Light-Emitting Diodes”. *HortScience* 27, sz. 5 (1992): 427–30.

20. Horváth, Gábor, és Sára Erdei, szerk. Növénybiokémiai és növényélettani gyakorlatok. Budapest: Budapesti Közgazdaságtudományi és Államigazgatási Egyetem, 2003.
21. Inyang, Hilary I., és John L. Daniels. ENVIRONMENTAL MONITORING -Volume I. EOLSS Publications, 2009.
22. Jagers op Akkerhuis Florentine. „Több fény, kevesebb energiával”. Fordította Pap Edina. Kertészet és Szőlészet 57., sz. 15. (2008. április 10.): 20–21.
23. Jung, Chuloh, és Mohammad Arar. „Natural vs. Artificial Light: A Study on the Influence of Light Source on Chlorophyll Content and Photosynthetic Rates on Indoor Plants”. Buildings 13, sz. 6 (2023. június): 1482. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/BUILDINGS13061482](https://doi.org/10.3390/buildings13061482).
24. Kientzler Garten. Beet- und balkon annuals 2025. Kientzler Jungpflanzen, 2024. [HTTPS://WWW.KIENTZLER.EU/KATALOGE/KIENTZLER-JUNGPFLANZEN-2025/HTML5FORPC.HTML?PAGE=2&BBV=1&PCODE=](https://www.kientzler.eu/kataloge/kientzler-jungpflanzen-2025/html5forpc.html?page=2&bbv=1&pcode=).
25. Kim, Kil-Nam, Qiu-Ying Huang, és Chao-Liang Lei. „Advances in Insect Phototaxis and Application to Pest Management: A Review”. Pest Management Science 75, sz. 12 (2019): 3135–43. [HTTPS://DOI.ORG/10.1002/PS.5536](https://doi.org/10.1002/ps.5536).
26. Lee, I., és R. M. Amasino. „Effect of Vernalization, Photoperiod, and Light Quality on the Flowering Phenotype of Arabidopsis Plants Containing the FRIGIDA Gene”. Plant Physiology 108, sz. 1 (1995. május 1.): 157–62. [HTTPS://DOI.ORG/10.1104/PP.108.1.157](https://doi.org/10.1104/pp.108.1.157).
27. Liu, Hongtao, Bin Liu, Chenxi Zhao, Michael Pepper, és Chentao Lin. „The Action Mechanisms of Plant Cryptochromes”. Trends in Plant Science 16, sz. 12 (2011. december 1.): 684–91. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.TPLANTS.2011.09.002](https://doi.org/10.1016/j.tplants.2011.09.002).
28. Liu, Wenke, Lingyan Zha, és Yubin Zhang. „Growth and Nutrient Element Content of Hydroponic Lettuce Are Modified by LED Continuous Lighting of Different Intensities and Spectral Qualities”. Agronomy 10, sz. 11 (2020. november): 1678. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/AGRONOMY10111678](https://doi.org/10.3390/agronomy10111678).
29. McCree, K. J. „The action spectrum, absorptance and quantum yield of photosynthesis in crop plants”. Agricultural Meteorology 9 (1971. január 1.): 191–216. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/0002-1571\(71\)90022-7](https://doi.org/10.1016/0002-1571(71)90022-7).
30. Ménard, C., M. Dorais, T. Hovi, és A. Gosselin. „DEVELOPMENTAL AND PHYSIOLOGICAL RESPONSES OF TOMATO AND CUCUMBER TO ADDITIONAL BLUE LIGHT”. Acta Horticulturae, sz. 711 (2006. június): 291–96. [HTTPS://DOI.ORG/10.17660/ACTAHORTIC.2006.711.39](https://doi.org/10.17660/ACTAHORTIC.2006.711.39).

31. Merényi Alexandra, ford. „Technika és bölcsesség”. *Kertészet és Szőlészet* 62., sz. 10. (2013. március 6.): 26–27.
32. Nelson, Jacob A., és Bruce Bugbee. „Economic Analysis of Greenhouse Lighting: Light Emitting Diodes vs. High Intensity Discharge Fixtures”. *PLOS ONE* 9, sz. 6 (2014. június 6.): e99010. [HTTPS://DOI.ORG/10.1371/JOURNAL.PONE.0099010](https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0099010).
33. Ouzounis, Theoharis, Xavier Fretté, Carl-Otto Ottosen, és Eva Rosenqvist. „Spectral Effects of LEDs on Chlorophyll Fluorescence and Pigmentation in *Phalaenopsis* ‘Vivien’ and ‘Purple Star’”. *Physiologia Plantarum* 154, sz. 2 (2015): 314–27. [HTTPS://DOI.ORG/10.1111/PPL.12300](https://doi.org/10.1111/PPL.12300).
34. Ouzounis, Theoharis, Eva Rosenqvist, és Carl-Otto Ottosen. „Spectral Effects of Artificial Light on Plant Physiology and Secondary Metabolism: A Review”. *HortScience* 50, sz. 8 (2015. augusztus 1.): 1128–35. [HTTPS://DOI.ORG/10.21273/HORTSCI.50.8.1128](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.50.8.1128).
35. Park, In Sook, Kyung Jin Cho, Jiseon Kim, Ji Yoon Cho, Tae Jo Lim, és Wook Oh. „Growth and Flowering Responses of *Petunia* to Various Artificial Light Sources with Different Light Qualities”. *Horticultural Science & Technology* 34, sz. 1 (2016): 55–66. [HTTPS://DOI.ORG/10.12972/KJHST.20160016](https://doi.org/10.12972/KJHST.20160016).
36. Pennisi, Giuseppina, Sonia Blasioli, Antonio Cellini, Lorenzo Maia, Andrea Crepaldi, Ilaria Braschi, Francesco Spinelli, és mtsai. „Unraveling the Role of Red:Blue LED Lights on Resource Use Efficiency and Nutritional Properties of Indoor Grown Sweet Basil”. *Frontiers in Plant Science* 10 (2019. március 13.). [HTTPS://DOI.ORG/10.3389/FPLS.2019.00305](https://doi.org/10.3389/FPLS.2019.00305).
37. Phansurin, Waralee, Thiva Jamaree, és Siriwat Sakhonwasee. „Comparison of Growth, Development, and Photosynthesis of *Petunia* Grown Under White or Red-blue LED lights”. *Horticultural Science and Technology* 35, sz. 6 (2017. december 31.): 689–99. [HTTPS://DOI.ORG/10.12972/KJHST.20170073](https://doi.org/10.12972/KJHST.20170073).
38. Rahman, Md Momtazur, David Luke Field, Soyed Mohiuddin Ahmed, Md Tanvir Hasan, Mohammad Khairul Basher, és Kamal Alameh. „LED Illumination for High-Quality High-Yield Crop Growth in Protected Cropping Environments”. *Plants* 10, sz. 11 (2021. november): 2470. [HTTPS://DOI.ORG/10.3390/PLANTS10112470](https://doi.org/10.3390/PLANTS10112470).
39. Randall, Wesley C., és Roberto G. Lopez. „Comparison of Supplemental Lighting from High-pressure Sodium Lamps and Light-emitting Diodes during Bedding Plant Seedling Production in: *HortScience* Volume 49 Issue 5 (2014)”. *HortScience* 49, sz. 5 (2014. május): 589–95. [HTTPS://DOI.ORG/10.21273/HORTSCI.49.5.589](https://doi.org/10.21273/HORTSCI.49.5.589).

40. Runkle, Erik, és Royal Heins. „Specific Functions of Red, Far Red, and Blue Light in Flowering and Stem Extension of Long-day Plants”. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 126, sz. 3 (2001. május 1.): 275–82. [HTTPS://DOI.ORG/10.21273/JASHS.126.3.275](https://doi.org/10.21273/JASHS.126.3.275).
41. Sabzalain, Mohammad R., Parisa Heydarizadeh, Morteza Zahedi, Amin Boroomand, Mehran Agharokh, Mohammad R. Sahba, és Benoît Schoefs. „High Performance of Vegetables, Flowers, and Medicinal Plants in a Red-Blue LED Incubator for Indoor Plant Production”. *Agronomy for Sustainable Development* 34, sz. 4 (2014. október 1.): 879–86. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s13593-014-0209-6](https://doi.org/10.1007/s13593-014-0209-6).
42. Schwartz, A., és E. Zeiger. „Metabolic Energy for Stomatal Opening. Roles of Photophosphorylation and Oxidative Phosphorylation”. *Planta* 161, sz. 2 (1984. május 1.): 129–36. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/BF00395472](https://doi.org/10.1007/BF00395472).
43. Sena, Saikat, Soni Kumari, Vijay Kumar, és Azamal Husen. „Light emitting diode (LED) lights for the improvement of plant performance and production: A comprehensive review”. *Current Research in Biotechnology* 7 (2024. január 1.): 100184. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.CRBIOT.2024.100184](https://doi.org/10.1016/J.CRBIOT.2024.100184).
44. Sipos, László, Ildikó Fruzsina Boros, László Csambalik, Géza Székely, András Jung, és László Balázs. „Horticultural lighting system optimalization: A review”. *Scientia Horticulturae* 273 (2020. november 17.): 109631. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.SCIENTA.2020.109631](https://doi.org/10.1016/J.SCIENTA.2020.109631).
45. Sipos László, Boros Ildikó Fruzsina, Purczel Ágnes, Varga Zsófia, Szőke Andrea, és Székely Géza. „Ledek hasznosítási lehetőségei a növénytermesztésben”. *Kertgazdaság* 49., sz. 3. (2017. augusztus 1.): 11–20.
46. Smith, H. „Light Quality, Photoperception, and Plant Strategy”. *Annual Review of Plant Biology* 33, sz. Volume 33, 1982 (1982. június 1.): 481–518. <https://doi.org/10.1146/annurev.pp.33.060182.002405>.
47. Székely Géza, Varga Zsófia, és Boros Ildikó Fruzsina. „Ibolyán túli és távoli vörös”. *Kertészet és Szőlészet* 67., sz. 26. (2018. június 27.): 15–17.
48. Tripathy, B. C., és C. S. Brown. „Root-Shoot Interaction in the Greening of Wheat Seedlings Grown under Red Light”. *Plant Physiology* 107, sz. 2 (1995. február 1.): 407–11. [HTTPS://DOI.ORG/10.1104/PP.107.2.407](https://doi.org/10.1104/PP.107.2.407).
49. Vu, Ngoc-Thang, Young-Shik Kim, Ho-Min Kang, és Il-Seop Kim. „Influence of Short-Term Irradiation during Pre- and Post-Grafting Period on the Graft-Take Ratio and Quality of Tomato Seedlings”. *Horticulture, Environment, and Biotechnology* 55, sz. 1 (2014. február 1.): 27–35. [HTTPS://DOI.ORG/10.1007/s13580-014-0115-5](https://doi.org/10.1007/s13580-014-0115-5).

50. Yeh, Naichia, és Jen-Ping Chung. „High-brightness LEDs—Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 13, sz. 8 (2009. október 1.): 2175–80. [HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.RSER.2009.01.027](https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.01.027).
51. Zhu, Xin-Guang, Stephen P Long, és Donald R Ort. „What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass?” *Current Opinion in Biotechnology*, Food biotechnology / Plant biotechnology, 19, sz. 2 (2008. április 1.): 153–59. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2008.02.004>.

8. Táblázatok és ábrák jegyzéke

Táblázatok

1. táblázat: A fitotron ciklusai órára, hőmérsékletre és fényintenzitásra lebontva. (saját szerkesztés).....	14
--	----

Ábrák

1. ábra: Petunia 'Kuyamba lilac blue' (fotó: Gábris M.).....	12
2. ábra: Fitotronban lévő petúnia dugványok LED fényben 2024.04.05. (fotó: Gábris M.) ..	13
3. ábra: Parafilmmel lefedett szövetkivonatok (fotó: Gábris M.)	15
4. ábra: Fénymikroszkóp alatt készült kép a levél fonáki részének a lenyomatáról (fotó: Gábris M.)	16
5. ábra: A gyökérvizsgálat során készült képek 2024.04.29. (fotó: Gábris M.)	18
6. ábra: A gyökérvizsgálat során készült képek 2024.05.22. (fotó: Mosonyi I.)	18
7. ábra: levélfelületmérés (fotó: Mosonyi I.)	19
8. ábra: Magasság (cm) átlagok alakulása kezelésenként (forrás: saját szerkesztés)	20
9. ábra: Elágazások (db) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	21
10. ábra: Virágszámok (db) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)...	21
11. ábra: gázcsereenyílások nyitottságának (μm^2) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	22
12. ábra: gázcsereenyílások nagyságának (μm^2) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	22
13. ábra: gázcsereenyílások darabszámnak (db/ mm^2) átlaga kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	23
14. ábra: gyökérfelület (mm^2) átlaga áprilisban, kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	24
15. ábra: gyökérfelület (mm^2) átlaga májusban, kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	24
16. ábra: gyökérfelületek (mm^2) átlagának összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	25
17. ábra: levélfelületek (cm^2) átlagának alakulása kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	26
18. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok áprilisban alakulása kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	27
19. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása májusban kezelésenként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	27

20. ábra: klorofilltartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés).....	28
21. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása áprilisban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	28
22. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok alakulása májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	29
23. ábra: karotinoidtartalom ($\mu\text{g/g}$) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés).....	30
24. ábra: peroxidáz enzimaktivitás (U/mg) átlagok alakulása áprilisban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	30
25. ábra: peroxidáz enzimaktivitás (U/mg) átlagok alakulása májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés)	31
26. ábra: peroxidáz enzimaktivitás (U/mg) átlagok összehasonlítása áprilisban és májusban kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés).....	31
27. ábra: szárazanyagtartalom (%) átlagok alakulása kezelésként csoportosítva (forrás: saját szerkesztés).....	32

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréséről és eredetiségéről

A hallgató neve: Gábris Mirtill
A Hallgató Neptun kódja: NXX5BO
A dolgozat címe: LED technológia alkalmazási lehetőségei növényházi növekedés szabályozásban
A megjelenés éve: 2024
A konzulens intézetének neve: Tájépítészeti, Településtervezési és Díszkertészeti Intézet
A konzulens tanszékének a neve: Dísznövénytermesztési és Dendrológiai Tanszék

Kijelentem, hogy az általam benyújtott szakdolgozat egyéni, eredeti jellegű, saját szellemi alkotásom. Azon részeket, melyeket más szerzők munkájából vettem át, egyértelműen megjelöltem, és az irodalomjegyzékben szerepeltettem.

Ha a fenti nyilatkozattal valótlan állítottam, tudomásul veszem, hogy a záróvizsga-bizottság a záróvizsgából kizár és a záróvizsgát csak új dolgozat készítése után tehetek.

A leadott dolgozat, mely PDF dokumentum, szerkesztését nem, megtekintését és nyomtatását engedélyezem.

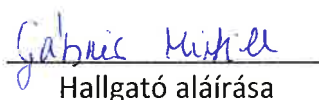
Tudomásul veszem, hogy az általam készített dolgozatra, mint szellemi alkotás felhasználására, hasznosítására a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem mindenkori szellemitulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumába. Tudomásul veszem, hogy a megvédett és

- nem titkosított dolgozat a védést követően
- titkosításra engedélyezett dolgozat a benyújtásától számított 5 év eltelte után

nyilvánosan elérhető és kereshető lesz az Egyetem MATER Hallgatói Dolgozatok repozitóriumában.

Kelt: Budapest, 2024.november 3.


Hallgató aláírása

NYILATKOZAT

Gábris Mirtill (hallgató Neptun azonosítója: NXX5BO) konzulenseként nyilatkozom arról, hogy a szakdolgozatot áttekintettem, a hallgatót az irodalmi források korrekt kezelésének követelményeiről, jogi és etikai szabályairól tájékoztattam.

A szakdolgozatot a záróvizsgán történő védeésre javaslom / nem javaslom.

A dolgozat állam- vagy szolgálati titkot tartalmaz: igen nem

Kelt: Budapest, 2024.11.04.



belső konzulens