

SZAKDOLGOZAT

Óri András István

2025



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

Szent István Campus

Kertészmérnök alapképzési szak

**A fény intenzitásának és spektrális összetételének hatása a saláta
növekedésére**

Belső konzulens: Dr. Balázs László
Egyetemi docens

**Belső konzulens
intézete/tanszéke:** Növénytermesztési-
tudományok Intézet
Agronómia Tanszék

Készítette: Óri András István

Gödöllő

2025

Tartalomjegyzék

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK	5
1.1. A téma aktualitása, jelentősége.....	5
1.2. Célkitűzések.....	6
2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS	7
2.1. A vertikális farmok	7
2.1.1. A vertikális farmok felépítése	7
2.1.2. A vertikális farmok lehetőségei és kihívásai.....	7
2.2. LED-megvilágítás alkalmazása vertikális farmon	8
2.2.1. A LED működése és története.....	8
2.2.2. A LED-alapú megvilágítási rendszerek helyzete	8
2.2.3. A LED használatának előnyei a hagyományos világítástechnikai eszközökhöz képest.....	9
2.3. A fény hatása a saláta növekedésére.....	10
2.3.1. A fény, mint alapvető tényező és a fotomorfogenezis folyamata	10
2.3.2. A növény fejlődése sötétben	10
2.3.3. A fényintenzitás hatása.....	11
2.3.4. Az árnyékolás jelensége és a távoli vörös fény hatása a növények életére	12
2.3.6. A távoli vörös fény alkalmazása salátatermesztés során	12
2.4. A tépősaláták gazdasági és táplálkozási jelentősége	14
3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK	14
3.1. A kísérlet helye és ideje	14
3.2. Alkalmazott termesztéstechnológia	15
3.2.1. Vetés.....	15
3.2.2. Tápoldat.....	15
3.2.3. Megvilágítás	16

3.2.4. Környezeti feltételek és növényvédelem.....	17
3.3. A kísérlet felépítése	17
3.4. Vizsgált paraméterek	18
3.5. A vizsgálati eredmények kiértékelése	19
3.5.1. Képfeldolgozás.....	19
3.5.2. A mérési eredmények feldolgozása.....	20
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	21
4.1. Megvilágítás	21
4.1.1. Spektrális összetétel	21
4.1.2. Fotoszintetikusán aktív fotonbesugárzás	22
4.1.3. Távoli vörös foton besugárzás	22
4.2. Gyökérhossz	23
4.3. Magasság	25
4.4. Tömegek	28
4.4.1. Zöld tömeg	28
4.4.2. Száraz tömeg	29
4.5. A levélfelület nagysága	30
4.6. Klorofilltartalom	31
5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK.....	33
6. ÖSSZEFOGLALÁS	35
7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	36
8. IRODALOMJEGYZÉK.....	37
9. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE.....	39
10. NYILATKOZATOK.....	41

1. BEVEZETÉS ÉS CÉLKITŰZÉSEK

1.1. A téma aktualitása, jelentősége

A talaj meghatározza mennyi élelmiszer előállítására vagyunk képesek, ezért az emberiség egyik legkritikusabb erőforrásának tekinthető. Ennek következtében égető probléma, hogy világszerte csökken a művelhető mezőgazdasági területek mennyisége és minősége a klímaváltozás, az urbanizáció, a természeti katasztrófák, és a nem megfelelő talajművelésnek, valamint növényvédőszer-használatnak köszönhetően. Ennek a csökkenő termőföld-tendenciának a városi területek különösen ki vannak téve (Budavári et al., 2024). Ezzel párhuzamosan a Föld népessége eddig soha nem látott mértékben növekszik. 2022 novemberében átlépte a 8 milliárd főt és az előrejelzések szerint a század végére 10 milliárdnál is többen fogunk élni a bolygón (http1). Jelen körülmények között az emberiség nem képes biztosítani az élelmezésbiztonságot még a ma élő népesség számára sem. 2022-ben 691 és 783 millió közöttire becsülték azok számát, akik éheztek (Budavári et al., 2024).

Erre a kihívásra a talaj nélküli termesztés kínálhat egy alternatív megoldást, a megfelelő mennyiségű és minőségű növényi élelmiszer előállításával. Legnagyobb lehetősége abban rejlik, hogy lehetővé teszi a hozam növelését egységnyi területre nézve a hagyományos termesztéssel szemben. Továbbá a talajos gazdálkodásban már nem hasznosítható területeket ki tudja használni, növényvédőszer alkalmazását nem igényli, és alkalmas a városokban történő termelésre is (Toyoki et al., 2020).

Bár a talaj nélküli termesztés évről-évre népszerűbb, és egyre több vertikális farm jelenik meg, van néhány szempont, ami egyelőre hátráltatja ezen szakág előretörését. Ilyen a magas kezdeti beruházási költség, a nagy energiafelhasználás, a termesztendő növényfajok korlátozott száma, a magasabb termelési költségek, valamint a működtetéséhez szükséges speciális szaktudás (Budavári et al., 2024).

A vertikális farmok üzemeltetési költségeinek jelentős részét a megvilágításra felhasznált energia ára adja. Amennyiben a termesztő növeli a távoli vörös sugárzást (FR, 700-800 nm) a fotoszintetikusán aktív sugárzáshoz (PAR, 400-700 nm) képest, az kiválthat a növényekben bizonyos árnyékkerülő reakciókat, így a szármegnyúlást, a levélfelületnövekedést és ezáltal a magasabb fényhasznosítást. Ez nagyban hozzájárulhat egy vertikális farm gazdasági életképességének és energiafelhasználásának javításához (Jin et al., 2021).

1.2. Célkitűzések

Dolgozatom célja számszerűsíteni, hogy talaj nélküli termesztés során a változó fényintenzitás, valamint a távoli vörös fény jelenléte mennyiben befolyásolja a *Lollo Rosso* és *Lollo Bionda* tépősaláták fejlődését. Négy különböző polcon termesztettünk 10-10 tépősalátát. A polcok közül kettő esetében magas volt a fotoszintetikus fotonbesugárzás, kettőnél alacsony, valamint két polc felett csak fehér fényű LED-eket helyeztünk el, míg másik kettő esetében az alap fehér megvilágítást kiegészítettük távoli vöröset sugárzó LED-es lámpatestekkel.

A kísérlet során megmértem a növények magasságát, valamint rendszeresen készítettem fényképeket az állományról, a levélfelület növekedésének megállapításához. A betakarítás időpontjában meghatároztam a tépősaláták tömegeit (zöld + száraz tömeg), fotoszintetikus aktivitásukat, valamint a fejlesztett gyökerek hosszát. A megvilágítási összetételekről fénymérést végeztem a spektrális összetétel, valamint a fotoszintetikus-, és a távoli vörös fotonbesugárzás pontos értékeinek megállapításához. Az így kapott adatokból kimutathatóvá vált, hogy adott LED-összetétel mellett milyen fejlődésre voltak képesek a növényeim, valamint, hogy a távoli vörös fény jelenléte mennyiben befolyásolta a növekedésüket.

A vizsgálat alanyának azért a tépősalátát választottam, mivel egy viszonylag gyors növekedésű, rövid tenyészidővel és alacsony energiaigénnyel rendelkező növény, ami a vertikális farmokon az egyik legnépszerűbb terménynek számít (Boros et al., 2023).

2. SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A vertikális farmok

2.1.1. A vertikális farmok felépítése

A vertikális farm, vagy mesterséges megvilágítással működő növénygyár (Plant Factory with Artificial Lighting – PFAL) egy olyan zárt növénytermesztési rendszer, ami egy belső, raktárszerű épületben foglal helyet, hőszigetelt, légmentesen záródik, valamint a növekedési környezet optimálisan szabályozott. A farm több, egymás felett elhelyezkedő polcrendszerből áll, ami növeli a területkihasználás hatékonyságát. A megvilágítást minden szinten elektromos lámpák biztosítják, amik korábban elsősorban fluoreszcens világítótestek voltak, de napjainkra már a LED-alapú megvilágítást részesítik előnyben a termesztők (Toyoki et al., 2020).

Működtetéséhez szükséges további eszközök a légkondicionálók, légkeringető ventilátorok, szén-dioxid- és tápoldatozó berendezések, valamint a környezeti feltételeket szabályozó vezérlőegységek (Toyoki et al., 2020).

2.1.2. A vertikális farmok lehetőségei és kihívásai

Amennyiben megfelelően van megtervezve és üzemeltetve, a vertikális növénytermesztés számos előnnyel és lehetőséggel rendelkezik. Többek között mivel nem igényel termőföldet, bárhol létesíthetőek, akár városokban is, így a szállítási energiaigény csökkenthető. Ez a környezeti terhelés és a költségcsökkentés szempontjából is kedvező. Az időjárás és a talaj állapota nem befolyásolja a termelést, ezért egész évben folyamatos termesztést tesz lehetővé, a termőképessége pedig bizonyos esetekben akár a 100-szorosa is lehet a szabadföldi növénytermesztésnek (Toyoki et al., 2020).

A termények minősége (például a fitonutriens-koncentráció) és mennyisége fokozható, elsősorban a fényminőség manipulálásával. Nincs szükség növényvédőszer alkalmazására, így az előállított termények mosás nélkül fogyaszthatóak, valamint hosszabb ideig elállnak, mivel a baktériumterhelés a szabadföldi körülményekhez képest elenyésző. Továbbá a szükséges erőforrásokat (víz, szén-dioxid, tápanyagok, ...) hatékonyan tudja felhasználni, miközben a környezetbe jutó szennyezőanyagok kibocsátása minimális (Toyoki et al., 2016).

Ugyanakkor a vertikális farmok rendelkeznek néhány megoldandó problémával, melyek közül az egyik leghangsúlyosabb a magas termelési költsége. Mivel ennek markáns részét az elektromos költségek, azon is belül a világítás teszi ki, egy megfelelően összeállított

LED-alapú megvilágítási rendszerrel ez az összeg jelentősen mérsékelhető (Toyoki et al., 2020).

2.2. LED-megvilágítás alkalmazása vertikális farmon

2.2.1. A LED működése és története

A LED (Light Emitting Diode, magyar nevén világító dióda), egy félvezető eszköz, amely előre irányuló feszültség hatására nem koherens, keskeny spektrumú fényt bocsát ki (Bourget, 2008).

Ez a világítástechnikai berendezés egy p- és n-típusú félvezetőből áll, melyek érintkeznek egymással. Megfelelő feszültség hatására a dióda p-típusú félvezetőjében pozitív töltésű, úgynevezett lyukak, az n-típusúban pedig elektronok mozdulnak el az ellenkező oldal felé. A lyukak és az elektronok, amikor találkoznak rekombinálódnak, és fotonokat hoznak létre. A lámpatestek ezt a mechanizmust követve bocsátanak ki fényt (Toyoki et al., 2020).

A LED-ek képesek az UV-C tartománytól az infravörös (IR) terjedően különféle hullámhosszú fény kibocsátására. Teljesítménye a pár milliwatt-tól több, mint 10 watt-ig terjed (Bourget, 2008).

A LED-et az 1920-as években találták fel, de az első gyakorlatban is használhatót 1962-ben fejlesztették ki. Ennek a modellnek látható, vörös fénye volt, azonban teljesítménye még elhanyagolhatónak bizonyult (Bourget, 2008). A nagy teljesítményű, 1 wattos diódák az 1990-es évek végén jelentek meg (Okon, 2015).

2.2.2. A LED-alapú megvilágítási rendszerek helyzete

Bula és munkatársai (1991) a Wisconsini Egyetemen javasolták először a LED-ek alkalmazását növénytermesztéshez. A fejes saláta egy fodros levelű fajtáján, a 'Grand Rapids'-on hajtottak végre megfigyelést. Arról számoltak be, hogy növekedésük vörös LED-ek és kiegészítő kék fluoreszkáló lámpák alatt megegyezett a hideg-fehér fluoreszkáló és izzólámpák kombinációja által megvilágított salátákéval.

Azonban ezt követően a LED-es világítást elsősorban még csak kutatási célokra, valamint palánták nevelésére alkalmazták. A 2000-es évek második feléig a helyzet stagnált, de a 2010-es években már komoly változások mentek végbe (Toyoki et al., 2020). Shoji és munkatársai (2013) szerint Japánban a vertikális farmok 60%-ában még a fluoreszkáló lámpákat részesítették előnyben, de a 27%-ukban már LED-eket használtak.

A Mordor Intelligence a 2019 és 2030 közötti időszokról adott ki egy piacelemzést, melyben a LED piaci értékét 2025-re 5,15 milliárd dollárra becsülték. Ez az érték várhatóan 2030-ig évente 12,2 %-os növekedést fog produkálni. A felmérés alapján a LED mezőgazdasági alkalmazásában élen járó országok az Egyesült Államok, Japán, Hollandia, Németország és Dél-Korea, ahol magasabb a vertikális farmok elterjedtsége (http2).

E növekedésnek egyik fő oka, hogy a LED-es lámpatestek a megfizethetőség szempontjából ugrásszerűen kerültek kedvezőbb kategóriába (Toyoki et al., 2020). A technológiai fejlődésnek és a nagyobb gyártási volumennek hála a beszerzési árak a töredékére esett. 2011 és 2015 között a LED A lámpák ára évente 32%-kal csökkent (Gerke et al., 2015).

2.2.3. A LED használatának előnyei a hagyományos világítástechnikai eszközökhöz képest

A LED-ek számos előnnyel rendelkeznek a hőmérsékleti sugárzáson (izzólámpák, halogénizzók) alapuló- és a kisüléssel fénykibocsátású (kisnyomású nátriumlámpa, nagynyomású higanylámpa) eszközökhöz képest (Toyoki et al., 2020).

Bourget (2008) szerint a LED-ek egységnyi elektromos energia felhasználásával több fényt képesek kibocsátani, mint az izzólámpák, a legmodernebb gyártmányok pedig a fénycsővel is versenyre kelnek. Robosztusabbak, ebből adódóan ellenállóbbak az üvegburás lámpáknál, és nem tartalmazzak olyan veszélyes anyagokat, mint a fénycsővek. Az Egyesült Államok Energiaügyi Minisztériuma által végzett felmérések megállapították, hogy élettartamuk is tovább nyúlik, mint az izzószálas, fénycsőves vagy nagy nyomású kisülőlámpák élethossza.

Egyik elhanyagolhatatlan tulajdonsága a LED-eknek, hogy közvetlenül nem sugároznak hőt, ami lehetővé teszi, hogy közelebb helyezzük el őket növényeinkhez. Ez azért előnyös, mert az állomány magasabb intenzitású fényt tud befogadni anélkül, hogy a világítótest a kisugárzott hő miatt kárt tenne abban. Ennek ellenére figyelembe kell venni a LED-ek által termelt hőt, aminek elvezetését biztosítani kell egy LED-alapú világítási rendszer megtervezésénél. Ez a maximális teljesítmény és az élettartam szempontjából elengedhetetlen (Bourget, 2008).

Az eddig felsorolt előnyökön túl meg kell említeni, hogy méretük kompakt, könnyűek, stabil fénykibocsátásúak, melynek mennyisége, és spektrális összetétele könnyen szabályozható (Toyoki et al., 2020). Utóbbi tulajdonság fontosságát jól mutatja egy salátákon elvégzett vizsgálat, ahol négy különböző LED-fény spektrumkombináció hatását hasonlították össze a hagyományos nagynyomású nátriumlámpával, amely kontrollként szolgált. Az

eredmények alapján a LED-ek által megvilágított növények a növekedés és a tápanyagfelvétel szempontjából előnyösebb eredményeket produkáltak, mint a nátriumlámpás világítás alatti saláták. Különösen az az összetétel bizonyult hatásosnak, amely távoli vörös, mélyvörös és kék LED-eket tartalmazott, ugyanis ez mutatta a legjobb növekedési és tápanyagfelvételi eredményeket. Ez a fényösszetétel különösen fokozta a kálium, kalcium és magnézium felvételét a nátriumlámpával megvilágított növényekhez képest (Pinho et al., 2016).

2.3. A fény hatása a saláta növekedésére

2.3.1. A fény, mint alapvető tényező és a fotomorfogenezis folyamata

A fény egy olyan abiotikus tényező a növények életében, mely nagyban meghatározza a legalapvetőbb tulajdonságaikat. Hatással van hozamukra, növekedésükre, fejlődésükre, morfológiájukra és kémiai összetételükre. A növények képesek a fény spektrális összetételének, intenzitásának, beesési szögének, és a megvilágítás időtartamának érzékelésére, hogy fejlődésüket ezen paraméterekhez tudják igazítani (Erdei, 2004).

A fény tehát amellet, hogy energiát biztosít a fotoszintézis elvégzéséhez, fontos környezeti jelként is szolgál a növények életében. Elindít és befolyásol bizonyos fejlődési folyamatokat, mint a sziklevelek nyílása, a szár megnyúlása, vagy a levelek mérete, vastagsága. Ez az összetett folyamat a fotomorfogenezis, mely jellemzi minden magasabb rendű növény normális fejlődését (Erdei, 2004).

Ezen folyamaton keresztül a fény különböző spektrális összetételei irányítják a növény életét. A növények ezeket a hullámhosszokat még alacsony intenzitás esetén is képesek érzékelni (Paradiso & Proietti, 2022).

2.3.2. A növény fejlődése sötétben

Ha megvizsgálunk két azonos korú, genetikailag nem különböző növényt, melyek közül az egyik sötétben, a másik fényben fejlődik, akkor észrevehetjük, hogy a sötétben fejlődött egyedden megjelenik az etioláltság jelensége. Ez a tünetkomplexum mind morfológiai, mind fiziológiai jegyekben nyilvánul a fény hiányának hatására. Ilyenkor a klorofillképződés erősen gátolva van, a növény sárgásfehér színű lesz, a szártagok megnyúlnak, a levelek pedig apró méretűek és szöveti differenciáltságuk is kis mértékű (Erdei, 2004).

Ezt a jelenséget skotomorfogenezisnek nevezik, ami hasonló elven működik, mint a fotomorfogenezis, csak ez sötétben játszódik le. Ezt a fejlődési stratégiát a növények életében

természetes körülmények között is megfigyelhetjük, mégpedig a csírázás esetén, amikor még nincs fény, valamint az árnyékolás idejében, amikor már nincs elegendő fény (Erdei, 2004).

2.3.3. A fényintenzitás hatása

A növényállományok nyílt ökológiai rendszerek, ezért állandó dinamikus kölcsönhatásban vannak környezetük biotikus és abiotikus tényezőivel, így a fénnel és annak intenzitásával is. Produktivitásuk alapja a fotoszintézis, amit a fényintenzitás alapvetően befolyásol, ezáltal jelentős mértékben meghatározza a növények által létrehozott biomassza mennyiségét (Pethő, 1998).

A növények a levélfelületre jutó fényenergiának a 70%-át nyelik el, a többit visszaverik, vagy átengedik. Az elnyelt fényenergia legnagyobb része hőenergiaként elvész a transzspiráció során, avagy a légkörbe sugárzódik ki. A fotoszintézisben csak jelentéktelen hányada hasznosul (Pethő, 1998).

Kis fényintenzitás mellett a növény csak alacsony intenzitáson tudja elvégezni a fotoszintézist, melyből következik, hogy kevesebb szén-dioxidot tud megkötni. Ezzel egy időben a légzése a fénytől függetlenül folyamatosan zajlik, ami azt eredményezi, hogy normális hőmérsékleten több szén-dioxidot bocsát ki, mint amennyit megköt. Ezáltal a növény nem képes úgy növekedni, mint megfelelően nagy fényintenzitás esetén (Pethő, 1998).

Amennyiben a fény intenzitása növekszik, úgy a növény egyre több szén-dioxid megkötésére lesz képes. Azt a fényintenzitást, amelynél adott hőmérsékleten a növény annyi szén-dioxidot köt meg, mint amit a légzés során leadott, fénykompenzációs pontnak nevezzük. Ezen az értéken a növény minden szén-dioxidot elhasznál a légzés során, amit megkötött, így további szervesanyag-gyapadódás nincs. A növény akkor képes növelni a biomasszát, ha a fényintenzitás meghaladja ezt az értéket (Pethő, 1998).

Erre alapozva a növekedés szempontjából előnyös, ha minél nagyobb a fényintenzitás, azonban ez csak egy bizonyos mértékig igaz. Kitazaki és munkatársai (2018) publikált egy cikket, melyben egy hosszú távú kísérlet eredményeiről számolt be. A kutatás során vertikális farmokra jellemző körülmények között vizsgálták különféle nagyságú fényintenzitások hatását a saláta növekedésére. A megfigyelés bebizonyította, hogy a túl magas ($300 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) fényintenzitás perzselődést okozott.

A fényintenzitás nemcsak a fotoszintézis mértékére és ezáltal a mennyiségre fejt ki hatást, hanem bizonyos beltartalmi tulajdonságokra, azaz a minőségre is. Többek között erőssége a saláta antioxidáns aktivitását, más szóval a szabadgyök megkötő képességét is befolyásolja (Sutuliené et al., 2022).

Ezen tények tudatában, egy természetnek elemi érdeke az optimális fényintenzitás meghatározása és annak alkalmazása egy vertikális farmon. Ez elengedhetetlen a nagy hozamú, tápanyagdús, egészséges állomány előállításához, valamint az energiapazarlás elkerülésével a költségminimalizálás eléréséhez (Mengdi et al., 2024).

2.3.4. Az árnyékolás jelensége és a távoli vörös fény hatása a növények életére

A növények a fény minőségének érzékelésén keresztül képesek felismerni, majd alkalmazkodni környezetük paramétereire. Árnyékolás szempontjából a vörös/távoli vörös fény arány határozza meg a növény reakcióját, amit a fitokróm rendszer által észlelnek. A levelek a vörös fényt abszorbeálják, míg a távoli vöröst nagyrészt átértesztik. Nappali, árnyékmentes fényben ez az arány magas, 1,19, naplementekor 0,96, míg például egy borostyán levélsátor alatt 0,13 (Erdei, 2004).

Ennek értelmében, ha a távoli vörös fény nagyobb mennyiségben van jelen, a növény érzékeli, hogy árnyékban van. Az árnyéket nem kedvelő növények ilyenkor alkalmazzák árnyékkerülő reakcióikat, és annak érdekében, hogy minél előbb jussanak nem szűrt, fotoszintetikusán aktív fényhez, átcsoportosítják erőiket és a főszár megnyújtásával fokozott apikális dominanciát mutatnak (Franklin, 2008).

Erre a jelenségre alapozva számos kísérlet készült, ami azt vizsgálta, hogy a távoli vörös fény milyen további reakciókat vált ki a növényekből. Bae és munkatársai (2018) szerint növeli a levélfelületet, ami javítja a fotoszintetikus sugárzás hasznosításának hatékonyságát.

Vörös és kék fényhez adott távoli vörös fény fokozta a hajtás friss- és száraz tömegét, a növénymagasságot, a levélfelületet és a fényhasznosítási hatékonyságot is saláta esetében (Li et al., 2020). Meng és munkatársai (2024) szerint paradicsomnál az indol-3-ecetsav szintjét serkenti, aminek köszönhetően az oldalágak képződése és növekedése erőteljesebb, zárvatermőknél pedig a gibberellin szintet.

Továbbá a távoli vörös fény képes lehet megváltoztatni a növényben a klorofill, az oldható fehérje és cukor, a C-vitamin, a nitrát, az antocián és egyéb minőségi vegyületek mennyiségét is (Meng et al., 2024).

2.3.6. A távoli vörös fény alkalmazása salátatermesztés során

A saláta számos kedvező tulajdonsága miatt az egyik legjelentősebb termesztett növénynek számít a vertikális farmok rendszerében. Rövid növekedési ciklusa mellett nagy

sűrűséggel lehet ültetni, energiagénye pedig alacsony. Vízigénye magas, gyökérzete sekély, ezért ideális a hidropóniás rendszerekben való termesztésre (Boros et al., 2023). Ezen oknál fogva az utóbbi években számos tanulmány jelent meg, mely a saláta talaj nélküli termesztésével, azon is belül a távoli vörös fény alkalmazásával foglalkozik.

Bébi leveles saláta (*Lactuca sativa L. var. acephala*) esetében megfigyelték, milyen hatással vannak különböző LED-világítás összetételek és üzemmódok a növekedésére. A salátákat zárt, hidropónikus rendszerben termesztették, a fényintenzitás $150 \mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$, a fotoperiódus 16 óra, a növekedési ciklus 30 nap, a növényesűrűség 1150 növény/m^2 volt. Két LED üzemmódot alkalmaztak, egy folyamatosat és egy pulzálót. A világítás spektrális eloszlása mind a két üzemmódnál a következőképp nézett ki: vörös = 77,1%; zöld + sárga = 17,9%; kék = 5%. Az eredmények azt mutatták, hogy mindkét LED-üzemmód növelte a hozamot, a levélhosszt és a levélszélességet a kontroll csoporthoz képest, amelyet üvegházban, szabályozott körülmények között, természetes fény mellett termesztettek, átlagos fényintenzitáson (Budavári et al., 2024).

Carotti és munkatársai (2024) azt vizsgálták hogyan hat a salátára, ha a vörös és kék sugárzást távoli vörös fényvel helyettesítik különböző dózisokban, miközben a fényintenzitás állandó. A növényeket *ebb-and-flow* rendszerben nevelték 29 napig, mely során öt különböző fénykezelést alkalmaztak. A kontroll kezelés optimalizált vörös és kék spektrumot tartalmazott $200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ intenzitással, mellette végrehajtottak négy kezelést, ahol a vörös és kék fényt távoli vörössel pótolták $10, 30, 50$ és $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mennyiségben.

Az eredmények alapján a legtöbb morfológiai paraméter és a biomassa-produkció már az ültetés utáni 15. napon megváltozott. A kísérlet végén arra jutottak, hogy a távoli vörös 30 és $50 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os jelenléte nagy lehetőségeket kínál, mivel a friss biomasszát előbbi 49%-, utóbbi 47%-kal növelte, míg a száraztömegben 45%-, illetve 42%-os növekedést figyeltek meg. A fényhasznosítási és a világítás energiahasznosítási hatékonyságát is jelentősen növelték ezen LED-összetételek, így a rendszer teljes energiafelhasználása kedvezőbb számokat mutatott. Ugyanakkor a $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mennyiségű távoli vörös fény nem idézett elő szignifikáns gyarapodást az állományban a kontrollhoz képest (Carotti et al., 2024).

Legendre és van Iersel (2021) szerint a kiegészítő távoli vörös fény megvilágítás fokozza a saláta levelének hosszát és szélességét, ezáltal a vetített lombkorona méretét is, amiből az következik, hogy a növény több fény befogadására lesz képes.

Kutatásuk két kísérletből tevődött össze, melyekből az első során azonos fotoszintetikus fotonbesugárzást, de különböző intenzitású távoli vörös fényt alkalmaztak a saláta hajtatásához. Ennek a kísérletnek az eredményei kimutatták, hogy a kiegészítő távoli vörös megvilágítás

növelte a vetített lombkorona méretét, ami a szárazanyagtartalom gyarapodásával is együtt járt (Legendre & van Iersel, 2021).

A második kísérlet alkalmával a távoli vörös fény intenzitását merőleges gradiensben változtatták a fotoszintetikus fotonbesugárzáshoz viszonyítva, így lehetőségük adódott az interaktív hatások vizsgálatára. Két betakarítási időpontot határoztak meg, egy korait (16 nap) és egy későit (25 nap). Az eredmények azt mutatták ki, hogy a befogadott fény mennyiségének növelésében a távoli vörös besugárzás 57%-kal (korai szedés), valamint 183%-kal (késői szedés), míg a biomassza növelésének szempontjából 92,5%-kal (korai) és 162%-kal (késői) bizonyult hatékonyabbnak a fotoszintetikus fotonbesugárzáshoz képest (Legendre & van Iersel, 2021).

2.4. A tépősaláták gazdasági és táplálkozási jelentősége

A tépősaláta régebbi típus, mint a fejes saláta, és főként Európa melegebb területein terjedt el, ahol a hosszú nappalok és forróság miatt a fejes saláta termesztése nehezebben kivitelezhető. Leginkább a Balkánon termesztik, de előfordul Nyugat- és Dél-Európa melegebb vidékein is. Magyarországon kevésbé ismert, csak kisebb kerti termesztésben találkozhatunk vele, ahol főként saját fogyasztásra nevelik (Terbe, 2000).

A tépősaláta legnagyobb értéke abban rejlik, hogy a levelei már magszárképződés után is ehetőek, nem lesznek túl rostosak vagy keserűek. Emellett gyors növekedésű, így jól illeszthető a vetésforgóba, akár másodvetésként is. Sűrű, tömött levélrozzát alkot, levelei fodrosak, csipkézettek, egyszerre akár egy vágással is szedhetőek (Terbe, 2000).

Táplálkozási értéke hasonló a fejes salátáéhoz viszonyítva. Magas ásványianyagtartalma miatt különösen ajánlott a fogyasztása. Íze kellemes, nem hajlamos a keseredésre. Változatos színe, formája és dekoratív megjelenése miatt ideális hidegtálak díszítésére is (Terbe, 2000).

3. ALKALMAZOTT MÓDSZEREK

3.1. A kísérlet helye és ideje

A kísérletet a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem Növénytermesztési-tudományok Intézet (NTTI) gödöllői telephelyén található talajnélküli növénytermesztésre alkalmas konténerek egyikében végeztem el (1. ábra). Ez a konténer minden növénytermesztéshez szükséges eszközzel fel volt szerelve, így tökéletes helyszínnek bizonyult

a kísérletem elvégzéséhez. 2024. 09. 30-án hajtottam végre a vetést, a betakarítást pedig 11.27-én.



1. ábra: A kísérlet helyszíne, a MATE NTTI gödöllői telephelyén található konténerok. Az én kísérletem a bal szélső konténerben zajlott.
(Forrás: saját fénykép)

3.2. Alkalmazott termesztéstechnológia

3.2.1. Vetés

A kísérlet során a tépősaláta (*Lactuca sativa var. crispata*) két fajtátípusát vizsgáltam, a *Lollo Bionda*-t és a *Lollo Rosso*-t. A magokat, melyeket a Rédei Kertimág Zrt. gyártott, átnedvesített tőzegkorongokba vettem el, amiket égetett agyaggolyókat tartalmazó műanyag edényekbe helyeztem. Ez biztosította a támasztóközeget. Minden tőzegkorongba 5-7 magot vettem 2024.09.30-án, majd egy héttel később, 2024.10.06-án vizuális vizsgálat után megállapítottam melyek a legfejlettebbek és eszerint egyeltem, hogy korongonként egy csíranövény maradjon. Ezt követően, ha nem ideális elhelyezkedésben növekedett, úgy javítottam helyzetén.

3.2.2. Tápoldat

Az edényeket egy tápoldattartályba helyeztem, melyben 60 liter víz mellé az Advanced Hydroponics of Holland Grow, Bloom és Micro tápadatait kevertem 2 ml/dm³: 1 ml/dm³: 1 ml/dm³ hígításban. A tápoldatozást egy Wilma márkanévű recirkulációs csepegtetőrendszer látta el. A csepegtető tűskéket, ahogy azt a 2. ábrán láthatjuk, a lehető legközelebb helyeztem el a salátákhoz, hogy gyökereivel képes legyen felvenni az átnedvesedett égetett agyaggolyók

közül a tápoldatot. Az edény alján a drén eltávozott, és visszafolyt a tápoldattartályba, ahonnan a keringető szivattyú ismét kijuttatta az állományra. A rendszert egy időzítő kapcsoló működtette, ami úgy volt beállítva, hogy minden második órában fél órát üzemeljen. Ez azért számított elengedhetetlennek, mert e mechanizmus nélkül nem tudtam volna megoldani a tápoldatozást ilyen gyakorisággal.



2. ábra: A saláták, a csepegtető tűk és az edények elhelyezkedése
(*Forrás: saját fénykép*)

A tápoldat pH-értéke 6,7, míg elektromos vezetőképessége (EC) 1700 $\mu\text{S}/\text{cm}$ volt. Ezen értékeket minden héten mértem mérőeszközökkel, és ha kellett korrigáltam.

3.2.3. Megvilágítás

A fényt LED-es megvilágítás szolgáltatta, melyek szintén automatikusan üzemeltek, minden nap 16 órát világítottak, 8 óra sötétség mellett.

Két polcmagassággal dolgoztam, hogy a saláták felett helyet foglaló LED-ektől mért távolság változtatásával a fény intenzitása eltérő legyen. A konténer ajtajához két közelebb levő polc magasabban (így ezek megvilágítása volt intenzívebb), a két hátulsó pedig alacsonyabban (ezen polcok intenzitása pedig gyengébb) helyezkedett el.

A megvilágításban két összetételt alkalmaztam, az egyik csak fehér összetételű, míg a másikban a fehér mellett távoli vörös kiegészítő megvilágítást is felszereltünk. Ez úgy nézett ki, hogy a bejáratától balra lévő polcok felett nem, míg jobb oldalt volt távoli vörös.

A kísérlet végén, miután betakarítottam a salátákat spektrométer segítségével fénymérést hajtottam végre. Minden edényben ötöt, a négy sarokban, valamint a középpontban egyet, ami polconként 50 darab mérést jelentett. A rögzített adatokból képesek voltunk

megállapítani a megvilágítás spektrális összetételét, a fotoszintetikusan aktív- valamint a távoli vörös fotonbesugárzást.

3.2.4. Környezeti feltételek és növényvédelem

A légkondicionáló berendezést 18 C°-ra állítottam. A konténerben a levegő relatív páratartalma 70% volt. A talaj nélküli termesztésnek köszönhetően a növényvédelem szempontjából különösebb intézkedést nem kellett végrehajtanom az eddigi paraméterek biztosításán kívül. Emellett ügyeltem rá, hogy a konténer ne legyen nyitott állapotban a szükséges időtartamnál többet. Ez elegendőnek bizonyult, ugyanis az állomány egészséges állapotban volt a betakarítás időpontjában.

3.3. A kísérlet felépítése

A saláták négy polcon foglaltak helyet, mindegyiken 10-10 darab. Két sorban, soronként 5-5 darab. A vetés során ügyeltem arra, hogy felváltva legyen a két fajtatípus, így kiszűrve azt a lehetséges hátráltató tényezőt, hogy elhelyezkedésük jelentősen befolyásolja az eredményeket.

Annak érdekében, hogy az összesen 40 darab saláta mindegyike könnyen megkülönböztethető és azonosítható legyen, létrehoztunk egy két elemből álló kódrendszert, ami a következőképp nézett ki:

- 1. elem: a fény összetételére, valamint intenzitására utal => A = csak fehér összeállítás, magas fényintenzitás; B = fehér + távoli vörös összeállítás, magas fényintenzitás; C = csak fehér összeállítás, alacsony fényintenzitás; D = fehér + távoli vörös összeállítás, alacsony fényintenzitás
- 2. elem: a polcon belüli elhelyezkedésre utal => polconként minden saláta kapott 1-10-ig egy számot

A megvilágítások, a polcok és a saláták elhelyezkedése, valamint a kódrendszer a 3. ábrán látható módon nézett ki.

	A2(LB)	A4(LR)	A6(LB)	A8(LR)	A10(LB)		C2(LR)	C4(LB)	C6(LR)	C8(LB)	C10(LR)
	A = csak fehér összeállítás, magas intenzitás						C = csak fehér összeállítás, alacsony intenzitás				
	A1(LR)	A3(LB)	A5(LR)	A7(LB)	A9(LR)		C1(LB)	C3(LR)	C5(LB)	C7(LR)	C9(LB)
BEJÁRAT	LB = Lollo Bionda LR = Lollo Rosso										
	B1(LB)	B3(LR)	B5(LB)	B7(LR)	B9(LB)		D1(LR)	D3(LB)	D5(LR)	D7(LB)	D9(LR)
	B = fehér + távoli vörös összeállítás, magas intenzitás						D = fehér + távoli vörös összeállítás, alacsony intenzitás				
	B2(LR)	B4(LB)	B6(LR)	B8(LB)	B10(LR)		D2(LB)	D4(LR)	D6(LB)	D8(LR)	D10(LB)

3. ábra: A kísérlet felépítéséről készített tervrajz
(Forrás: saját munka)

3.4. Vizsgált paraméterek

Kísérletem célja az eltérő fényintenzitás, valamint a távoli vörös pótmegvilágítás hatásának számszerűsítése volt, két tépősaláta fajtatípusra nézve. Ez a három változó tényező állt fenn a kísérlet során, ennek következtében minden másban törekedtem az egyöntetűsége. A tápoldatot mind a négy tartályban egyenlően kevertem ki, a kémhatását és az elektromos vezetőképességét rendszeresen mértem, hogy ne térjenek el számottevően. Az állománysűrűség szintén azonos volt, minden edényben egy salátát neveltem, melyek ugyanakkora, kellően nagy távolságra helyezkedtek el egymástól, ezért nem volt jelen árnyékolás.

A vetés után számított 11. (október 11.) és 16. napon (október 16.) megmértem a saláták függőleges megnyúlásának nagyságát. Magasságmérésre ezután nem került sor, mert a saláták vertikális növekedése lelassult, és inkább horizontálisan volt jelentősebb biomasszagyapadás.

A salátákról egyenként készítettem fényképeket, a vetés után számított 11., 16., 30., 37., 44., 51. és a betakarítás napján, vagyis az 58. napon, hogy a képek kielemezésével nyomon tudjuk követni a növények levélfelületének növekedését.

A betakarítás napján, közvetlenül azelőtt, hogy leszedtem a salátákat, végeztem egy klorofilltartalom mérést SPAD mérő műszer segítségével. Abból adódóan, hogy a lehető legreprezentatívabb legyen ez az érték, minden növényen összesen hat mérést végeztem el, hármat külső leveleken, hármat a középponthoz közelebb lévőkön.

Végezetül megmértem a növények hajtásainak tömegét, valamint a gyökereknek a hosszát. Céлом az volt, hogy a saláták levélrozettáinak a száraz tömegeit is megállapítsam,

azonban adódott egy probléma, mégpedig, hogy helyhiány okán nem volt lehetőségem a hajtások teljes egészét a szárítóba helyezni. Ezt megoldva salátánként levágtam 6-7 levelet, a növény különböző részeiről, melyeknek zöld tömegét rögzítettem, majd ezeket helyeztem a szárítóba. Ezt követően a kiszárított levelek tömegét feljegyeztem, amiből arányosan tudtam következtetni a teljes hajtás száraz tömegére. Mivel csak így tudtuk kiküszöbölni a helyhiány okozta nehézséget, az így kapott adatok a felhalmozott szárazanyagtartalomra vonatkozóan nem teljesen pontosak.

3.5. A vizsgálati eredmények kiértékelése

3.5.1. Képfeldolgozás

Az állományról heti gyakorisággal készített fényképek alapján, a *Fiji/ImageJ* képelemző program segítségével tudtam megállapítani a levélfelület növekedésének intenzitását (4. ábra).



4. ábra: A betakarítás után készített fénykép a levélfelület meghatározásához (balra); ugyanezen fénykép a megfelelő fény- és színskála beállítása után, bináris formátumban (jobbra)

(Forrás: saját fénykép, illetve saját munka)

A salátákat úgy fotóztam le, hogy jól látható helyen elhelyeztem egy vonalzót, vagy egy Lego darabkát, melynek hosszúsága ismert volt. Ezek segítségével kalibráltam a skálát a programban, hogy a pixelméret megfeleljen a valós távolságoknak. Ezt követően a *Color Threshold* funkciót alkalmazva elkülönítettem a saláta leveleit a kép többi részétől. A megfelelő szín- és fényességtartomány beállítása után a fényképeket átalakítottam bináris formátumba,

minek következtében a levélfelület fehér, míg a háttér fekete pixelekkkel jelent meg. A salátát ábrázoló fehér pixeleket így könnyen kitudtam jelölni, és a program meghatározta hány cm² az adott levélfelület. A levélfelületek meghatározása után ezen eredményeket az idő függvényében egy szigmoid görbén ábrázoltuk.

3.5.2. A mérési eredmények feldolgozása

Minden mérési eredmény feldolgozását egy kéttényezős varianciaanalízis elkészítésével kezdtünk, a tépősaláta fajtatípusok és a megvilágítási összetételek vizsgálatára. Az elemzés célja annak megállapítása volt, hogy e tényezők, illetve azok kölcsönhatása szignifikáns hatást gyakorolt-e a saláták fejlődésére. Amennyiben a fajtatípusok esetében szignifikánsnak bizonyult a különbség (p-érték <0,05), akkor a *Lollo Rosso* és *Lollo Bionda* eredményeit külön kezeltük. Ezután az adatokat dobozdiagramon ábrázoltuk.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELEÉSÜK

4.1. Megvilágítás

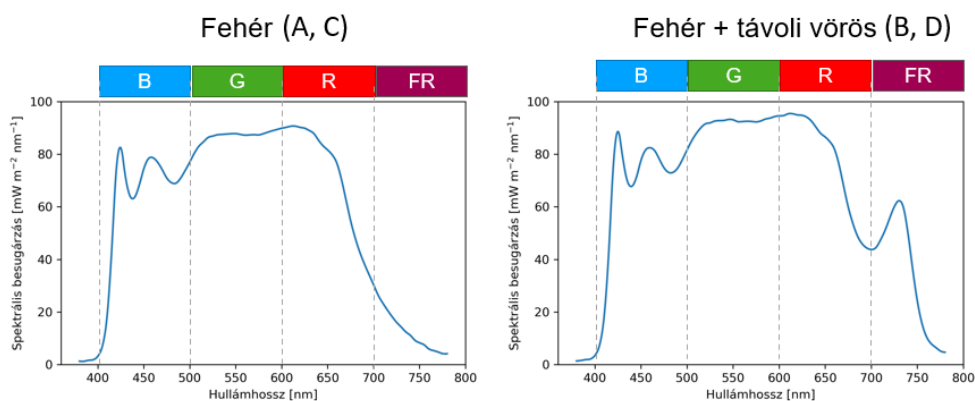
4.1.1. Spektrális összetétel

Az 5. ábrán látható görbék, melyeket a 2024. 11. 28-án elvégzett fénymérések alapján készítettünk el, szemléltetik a kísérlet során alkalmazott megvilágítások spektrális összetételeit. A vízszintes tengelyen a fény hullámhossza, míg a függőlegesen a spektrális besugárzás van ábrázolva, így leolvasható, hogy a fényforrás milyen erősségen sugárzott az egyes hullámhosszokon és színtartományokban.

Az „A” és „C” kódjelű polcok görbéiről leolvasható, hogy a LED a teljes látható spektrumban (PAR = 400-700 nm) nagyjából egységes intenzitáson sugárzott, ami jellemző a fehér megvilágításra. A besugárzás a zöld-piros (500-650 nm) tartományban vette fel a legmagasabb értéket, a már nem látható, távoli vörös tartományban az intenzitás mértéke pedig elenyésző volt.

Ezzel szemben a „B” és „D” polcok megvilágításánál a fehér fényt kiegészítettük távoli vörös fényt (700-750 nm) sugárzó LED-ekkel, amit a görbén is szemügyre vehetünk.

Összességében elmondható a spektrális görbék alapján, hogy az „A” és „C” polcok megvilágításai elsősorban fotoszintetikusán aktív sugárzást biztosítottak, míg a „B” és „D” polcoknál felszerelt kiegészítő távoli vörös LED-es lámpatestekkel létrehoztunk egy szélesebb spektrumot, mellyel aktiválni tudtuk a növények árnyékkerülő reakcióit.



5. ábra: A megvilágítás spektrális összetételéről készült grafikonok. A bal oldalon a fehér fényű összeállítás, a jobb oldalon a távoli vörös kiegészítő megvilágítást is tartalmazó összetétel látható

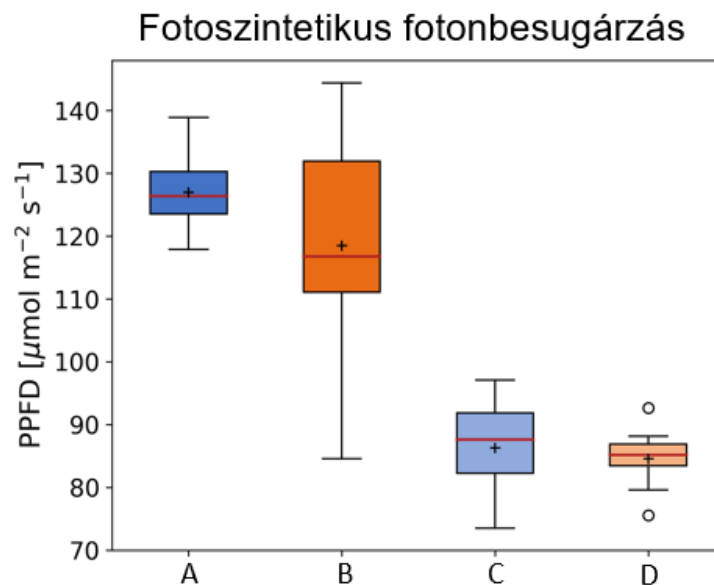
(Forrás: saját munka)

4.1.2. Fotoszintetikus aktív fotonbesugárzás

A fotoszintetikus fotonbesugárzás a fotoszintézis szempontjából hasznos, 400-700 nm tartományba eső fotonfluxust fejezi ki ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$). Ezen érték alapján meg tudjuk állapítani, hogy a különböző megvilágítási összetételek milyen mértékben biztosítottak a növények számára a fotoszintézis szempontjából releváns fényintenzitást. A fénymérések alapján elkészített dobozdiagram a fotoszintetikus fotonbesugárzásról a 6. ábrán látható.

Az „A” kódjelű megvilágítás átlaga (+ jel), valamint mediánja (piros vízszintes vonal) is a legmagasabbnak bizonyult a négy összeállítás közül. A mérések eredményei itt a 120-140 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ intervallumban mozogtak. A „B” megvilágítás valamivel alacsonyabb átlaggal rendelkezett (120 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), a szórása viszont meglehetősen nagyobb volt.

A „C” és „D” megvilágítás jelentősen kisebb erősséggel sugárzott a látható tartományban, mivel ezen polcok alacsonyabban helyezkedtek el, így távolabb voltak a LED-ektől. Megközelítőleg azonos átlaggal és mediánnal rendelkeztek, 85-90 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os értékkel.



6. ábra: Az egyes LED megvilágítások fotoszintetikus fotonbesugárzásáról készített dobozdiagram

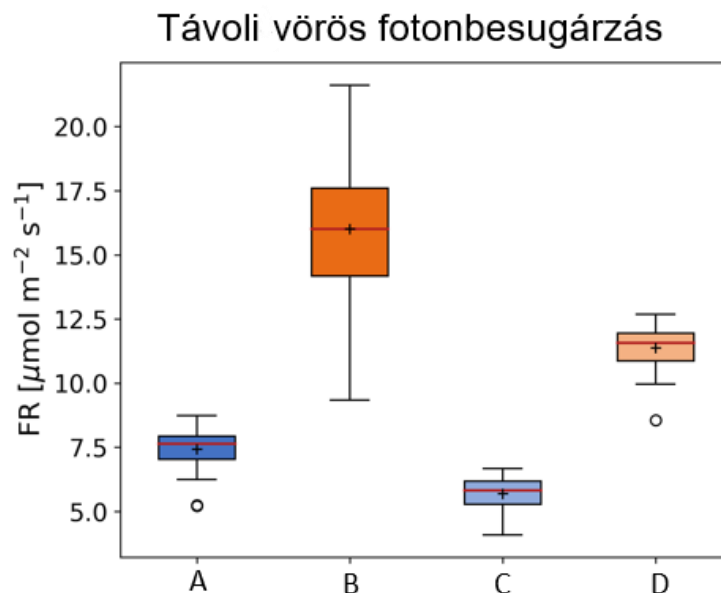
(Forrás: saját munka)

4.1.3. Távoli vörös foton besugárzás

A távoli vörös foton besugárzásról készített dobozdiagramról (7. ábra) az olvasható le, hogy az „A” és „C” típusú megvilágítások alacsony intenzitáson sugároztak a 700-750 nm-es hullámtartományban (átlagosan 7-8 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$), ami abból következik, hogy ezen

összetételek nem tartalmaztak távoli vörös fényű LED-eket, csak fehér sugárzású lámpatesteket.

A „B” és „D” fényösszeállításoknál megfigyelhető egy határozottan magasabb FR-érték, ami a távoli vörös LED-ek hozzáadásából adódik. Különösen a „B” LED esetén kiugró ez az érték, ahol átlagosan $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -t mért a spektrométer. Emellett a „B” megvilágítás, a fotoszintetikus fotonbesugárzás értékeihez (4. ábra) hasonlóan magas szórást produkált. Ez oda vezethető vissza, hogy a polc felett a távoli vörös fényű LED lámpák elhelyezése nem volt teljesen egyenletes, ezáltal a mérési pontok között jelentős különbségek adódtak. Ez a heterogenitás befolyásolta a növények által érzékelt fényminőséget, amit a fejlődésükben is megfigyelhettünk.



7. ábra: A megvilágítási összetételek távoli vörös fotonbesugárzását ábrázoló dobozdiagram (Forrás: saját munka)

4.2. Gyökérhossz

A gyökérhosszokról készített kéttényezős varianciaanalízis (1. táblázat) alapján a megvilágítási kezelések, valamint a kölcsönhatás, azaz a fajtátípus és a megvilágítás összefüggése nem bizonyult szignifikánsnak, mivel a p-érték mind a két tényező esetében nagyobb, mint 0,05. Ennek értelmében a gyökerek hosszára a különböző LED-megvilágítások önmagukban nem fejtettek ki számottevő különbséggel rendelkező hatást, valamint a fajták reakciója sem tért el egymástól jelentősen a kezelések hatására.

A fajtatípusok között azonban szignifikáns különbséget állapíthatunk meg (p -érték $<0,05$), ennek következtében a *Lollo Rosso* és *Lollo Bionda* tépősaláták eredményeit külön kezeltük az oszlopdiagram elkészítésekor.

1. táblázat: A gyökerek hosszáról készült mérések alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis
(Forrás: saját munka)

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Fajtatípusok	881,721	1	881,721	9,68299	0,003897	4,149097
Megvilágítások	323,881	3	107,9603	1,185612	0,330721	2,90112
Kölcsönhatás	362,717	3	120,9057	1,327776	0,282543	2,90112
Belül	2913,88	32	91,05875			
Összesen	4482,199	39				

A 8. ábráról leolvasható, hogy a két fajtatípus milyen hosszú gyökereket volt képes növesztetni a különböző fényreceptek hatására. Általánosságban a *Lollo Rosso* fajtatípus egyedei a kísérlet során hosszabb gyökereket hoztak létre, mint a *Lollo Bionda* típusú tépősaláták.

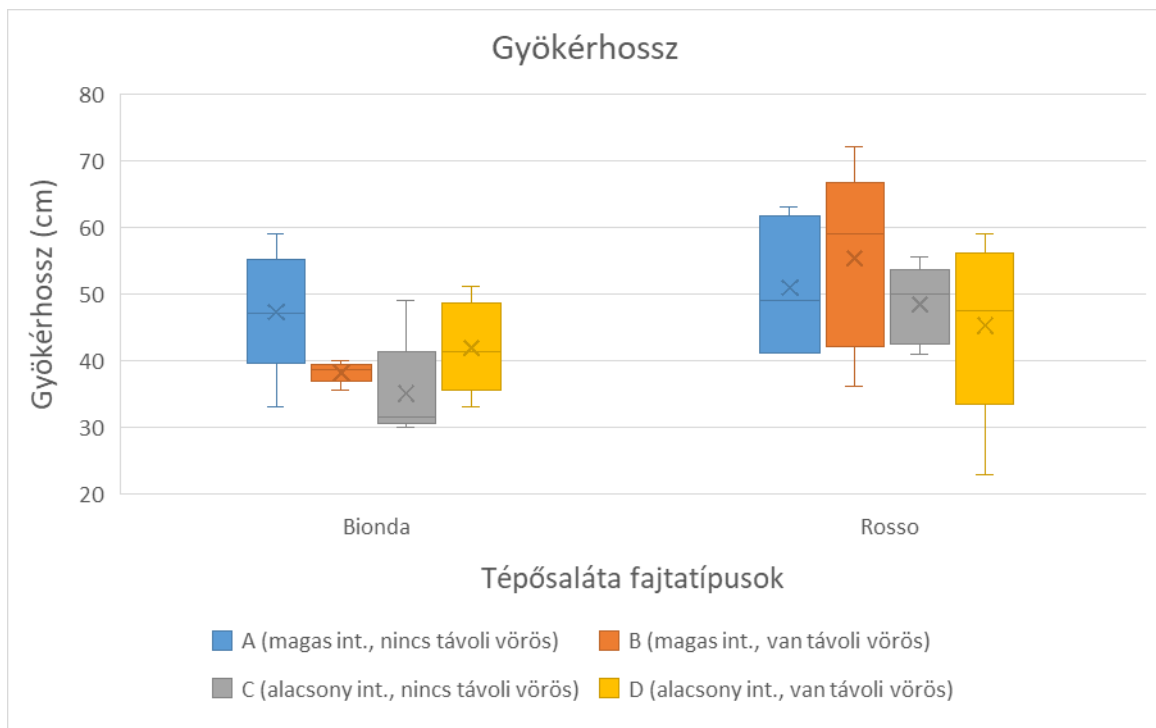
A *Bionda* fajtatípus egy kiegyensúlyozottabb, alacsony szórású, ugyanakkor mérsékelt gyökérnövekedést produkált. Esetükben az „A” polcon hajtattott salátáknak lett a legmagasabb átlaguk (47,24 cm), míg a legalacsonyabb értéket a „C” megvilágítás (35 cm) eredményezte. Ezzel szemben a *Rosso* típusú saláták magasabb szórás mellett egységesen magas átlagot produkáltak, 45,24 cm („D” polc) és 55,3 cm („A” polc) közötti értékekkel. A *Bionda* esetében a legkisebb és legmagasabb átlag között nagyobb a különbség, mint a *Rosso*-nál, ezért kijelenthető, hogy az eltérő megvilágításokra azon saláták érzékenyebben reagáltak a gyökérnövekedés szempontjából.

A megvilágítás hatása ugyan nem szignifikánsan, de befolyásolta az eredményeket. A magas intenzitású, távoli vörös fényt nem tartalmazó „A” megvilágítás mind a két fajtatípus esetében magas átlagot eredményezett. A távoli vöröset sugárzó LED-eket tartalmazó, „B” és „D” összetételre a *Rosso* sokkal intenzívebben reagált, mint a *Bionda*. Továbbá megfigyelhető az az érdekes tény, hogy a *Bionda* esetében az alacsony intenzitású, távoli vöröset tartalmazó „D” megvilágítás magasabb átlagot eredményezett, mint a magas intenzitású, távoli vöröset ugyanúgy sugárzó „B” polcrendszer LED összeállítása.

Összegezve, a 8. ábrán látható adatok alapján az mondható el, hogy a kísérlet során a távoli vörös fény nem növelte számottevően a *Lollo Bionda* tépősaláták gyökereinek hosszát.

A *Lollo Rosso* típusúak ellenben érzékenyebben reagáltak a jelenlétére, főleg a magas intenzitású, „B” megvilágítás alatt növekedtek.

A fotoszintetikus fotonbesugárzásról szintén azt állapíthatjuk meg, hogy a *Rosso* fajtatípusra nagyobb hatással volt az intenzívebb besugárzás. Az „A” és „B” polcokon nevelt növények hosszabb gyökereket fejlesztettek, mint az alacsonyabb intenzitású „C” és „D” megvilágítások alatt fejlődők. A *Bionda* típusnál ebből a szempontból csak az „A” fényösszeállítás növényei mutattak erőteljes növekedést, a „B” polc salátái szembetűnően rövidebb gyökereket képeztek.



8. ábra: A kísérlet során hajtatott tépősaláták által létrehozott gyökerek hosszait ábrázoló dobozdiagram, fajtatípusokra és fényreceptekre bontva
(Forrás: saját munka)

4.3. Magasság

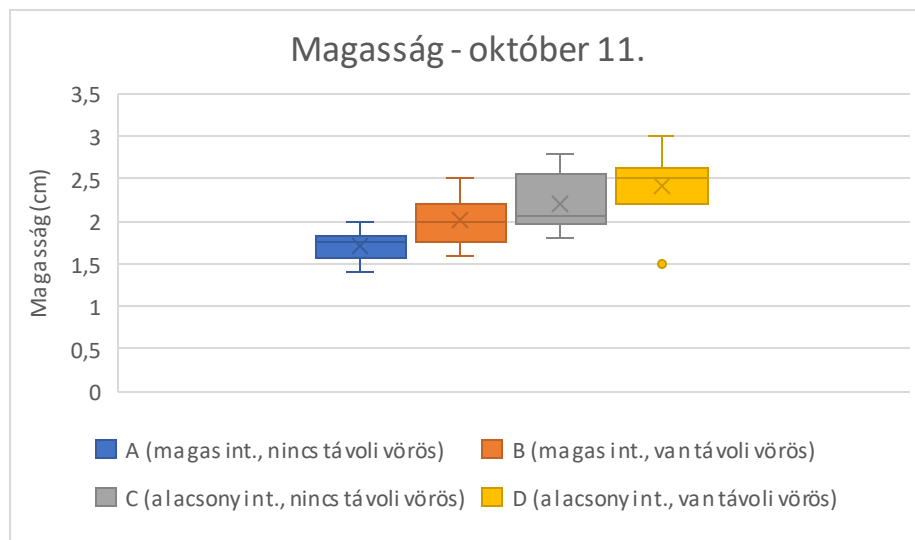
Az október 11-ei magasságok alapján elvégzett kéttényezős varianciaanalízist megvizsgálva a fajtatípusok p-értéke nagyobb, mint 0,05, tehát a különbség nem szignifikáns. Ennek okán a mérés eredményeit egyben kezeltük, nem bontottuk szét fajtatípusokra. A megvilágítások adatsorban ellenben szignifikáns különbséget figyelhetünk meg (p -érték $<0,05$), tehát a különböző fényreceptek számottevő hatást fejtettek ki a saláták vertikális megnyúlására.

2. táblázat: A saláták október 11-én mért magasságai alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis
(Forrás: saját munka)

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Fajtatípusok	0,04225	1	0,04225	0,378499	0,542758	4,149097
Megvilágítások	2,60075	3	0,866917	7,766331	0,000492	2,90112
Kölcsönhatás	0,10875	3	0,03625	0,324748	0,807428	2,90112
Belül	3,572	32	0,111625			
Összesen	6,32375	39				

Az ebben az időpontban mért magasságok alapján elkészített dobozdiagramot a 9. ábrán vehetjük szemügyre. A mérések alapján a legalacsonyabb vertikális megnyúlás az „A” polcon történt, ahol egy alacsonyabb szórás mellett, 1,72 cm-es átlagot eredményezett a magas intenzitású, csak fehér fényű megvilágítás. A legmagasabb értéket az alacsony intenzitású, távoli vörös fényt is tartalmazó „D” polc fényreceptje eredményezte. Itt az átlag egy magasabb szórás mellett 2,41 cm volt.

A diagram alapján egyértelműen megállapítható, hogy az alacsonyabb intenzitású megvilágítások esetén erőteljesebben nyúltak meg a saláták, mint a magasabb PPFID-vel rendelkező „A” és „B” polcok növényei. A távoli vörös megvilágítás hatása szintén leolvasható a diagramról. Ha összehasonlítjuk az azonos intenzitáson üzemelő megvilágításokat, tehát az „A-B” és a „C-D” polcokat, akkor jól kivehető, hogy mind a két esetben a távoli vörös fényt tartalmazó megvilágítások hatására nyúltak meg jobban a növények.

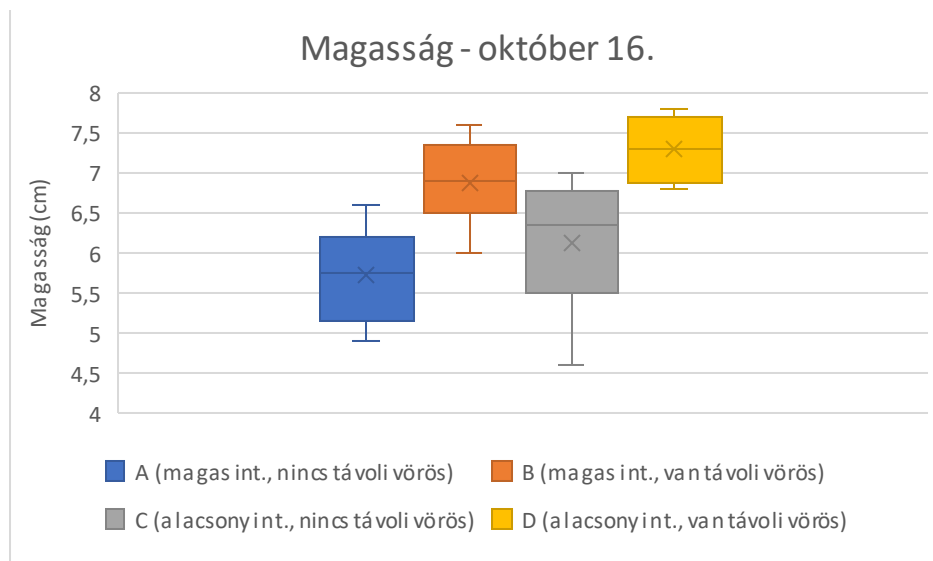


9. ábra: A saláták október 11-én mért magasságai alapján elkészített dobozdiagram
(Forrás: saját munka)

Az október 16-án végzett magasságmérések alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis (3. táblázat) hasonló következtetésre juttatott, mint az október 11-ei eredmények során. A tépősaláta fajtatípusok között itt sem figyelhető meg szignifikáns különbség, ezáltal itt is egyben kezeltük a *Lollo Rosso* és *Lollo Bionda* eredményeit. Ellenben a megvilágítási összetételek között szignifikánsnak bizonyult az eltérés, tehát kijelenthető, hogy ebben az időpontban is számottevő hatással volt a változó fényintenzitás és a távoli vörös fény jelenléte a növények vertikális megnyúlására.

3. táblázat: Az október 16-ai magasságok alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis (Forrás: saját munka)

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Fajtatípusok	0,361	1	0,361	0,980312	0,32955	4,149097
Megvilágítások	15,057	3	5,019	13,62933	6,74E-06	2,90112
Kölcsönhatás	0,217	3	0,072333	0,196425	0,898054	2,90112
Belül	11,784	32	0,36825			
Összesen	27,419	39				



10. ábra: A saláták október 16-án mért magasságai alapján elkészített dobozdiagram (Forrás: saját munka)

Az október 16-ai magasságokról készült dobozdiagramon (10. ábra) jól kirajzolódik, hogy a távoli vörös fényt tartalmazó megvilágítások alatt növekedett saláták lehagyták megnyúlásban a csak fehér fényű polcok növényeit. A legnagyobb magasságot ekkor is a „D” polc eredményezte, a másodikat pedig a „B” megvilágítás. Ha összehasonlítjuk, az azonos intenzitású megvilágítások alatt növekedő saláták átlagmagasságát, azt kapjuk, hogy magas intenzitás mellett a távoli vörös jelenléte 20,07%-kal („A” átlaga = 5,73, „B” átlaga = 6,88 cm),

míg alacsony PPFD-n 19,12%-kal („C” átlaga = 6,12 cm, „D” átlaga = 7,29 cm) növelte a tépősaláták megnyúlását.

Ezen eredmények korrelálnak Franklin (2008) megállapításával, miszerint az árnyékot nem kedvelő növények, ha észlelik a fitokrómrendszeren keresztül a távoli vörös fény mennyiségének emelkedését, fokozott apikális dominanciát mutatnak annak érdekében, hogy előbb jussanak fotoszintetikusán aktív fényhez.

4.4. Tömegek

4.4.1. Zöld tömeg

A zöldtömegekről készített kéttényezős varianciaanalízist megnézve (4. táblázat), a különböző fajtatípusok és a megvilágítások között is szignifikánsnak mondható különbség volt. A fajtatípusokat ennek megfelelően külön kezeltük az adatelemzésnél.

4. táblázat: A saláták zöld tömegeiről elkészített kéttényezős varianciaanalízis
(Forrás: saját munka)

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Fajtatípusok	7703,955	1	7703,955	4,916334	0,033829	4,149097
Megvilágítások	39906,45	3	13302,15	8,488861	0,000272	2,90112
Kölcsönhatás	2620,883	3	873,6278	0,557512	0,64691	2,90112
Belül	50144,39	32	1567,012			
Összesen	100375,7	39				



11. ábra: A tépősaláták zöld tömegeiről készített dobozdiagram
(Forrás: saját munka)

A zöldtömegeket ábrázoló oszlopdiagramot megvizsgálva (11. ábra) könnyen észrevehető, hogy a *Bionda* és a *Rosso* fajtatípusok is a magasabb intenzitású, távoli vörös fényt tartalmazó, „B” megvilágítás alatt hozták létre a legnagyobb biomasszát. Magas intenzitáson mind a két típusnál ez a fényrecept bizonyult a hatékonyabb összetételnek.

Alacsony fényintenzitás mellett viszont a távoli vörös fény jelenléte nem jelentett mérhető növekedést a zöldtömegben, ezért kijelenthető, hogy ilyen körülmények között nem számít gyarapító tényezőnek.

Az 5. táblázatban láthatjuk, hogy az egyes megvilágítások hatására mekkora zöldtömeget volt képes létrehozni az állomány, valamint a távoli vörös fény jelenlétének hatása százalékban kifejezve a csak fehér megvilágításhoz képest. Magas intenzitású besugárzás esetén jelentős gyarapodást értünk el a kiegészítő távoli vörös megvilágítással. A *Bionda* 23,73%-os, míg a *Rosso* típusú tépősaláták 15,17%-os gyarapodást produkáltak, míg alacsony PPFD-n a különbség nem releváns.

Carotti és munkatársai (2024) hasonló eredményekről számolt be, amikor a távoli vörös megvilágítás hatásait vizsgálták saláta hajtás során. Abban a kísérletben a $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os és a $70 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os távoli vörös besugárzás nagy mértékben növelte a saláták biomasszáját, míg $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ mellett a különbség elenyésző volt.

5. táblázat: A teljes állomány zöldtömege polconként, valamint a távoli vörös fény jelenlétének hatása a biomasszára azonos intenzitások mellett
(Forrás: saját munka)

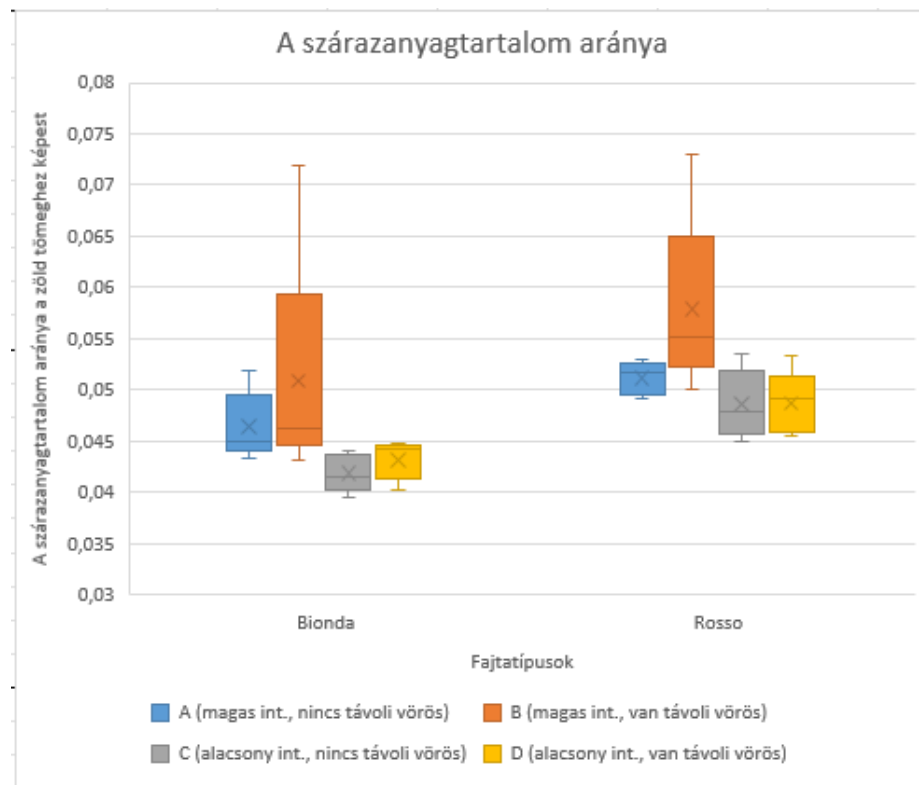
Fajtatípus	Intenzitás	Csak fehér megvilágítás zöldtömege (g)	Távoli vöröst tartalmazó megvilágítás zöldtömege (g)	Változás (%)
Bionda	magas (A-B)	760,37	940,8	+23,73
Rosso	magas (A-B)	648,25	746,6	+15,17
Bionda	alacsony (C-D)	528,6	521	-1,44
Rosso	alacsony (C-D)	461,4	468,7	+1,58

4.4.2. Száraz tömeg

A száraz tömeg meghatározása után kiszámítottuk a száraz tömeg arányát a zöld tömeghez viszonyítva, amit oszlopdiagramon szemléltettünk (12. ábra). A *Rosso* és a *Bionda* típusú saláták is a „B” megvilágítás alatt hozták létre a legtöbb száraz anyagot. Megfigyelhetjük, hogy a szórás kifejezetten nagy ezen saláták szárazanyagtartalma esetében.

Ez arra vezethető vissza, amit a fényméréseknél megállapítottunk, hogy a „B” LED távoli vörös fény besugárzása magas szórás mellett történt.

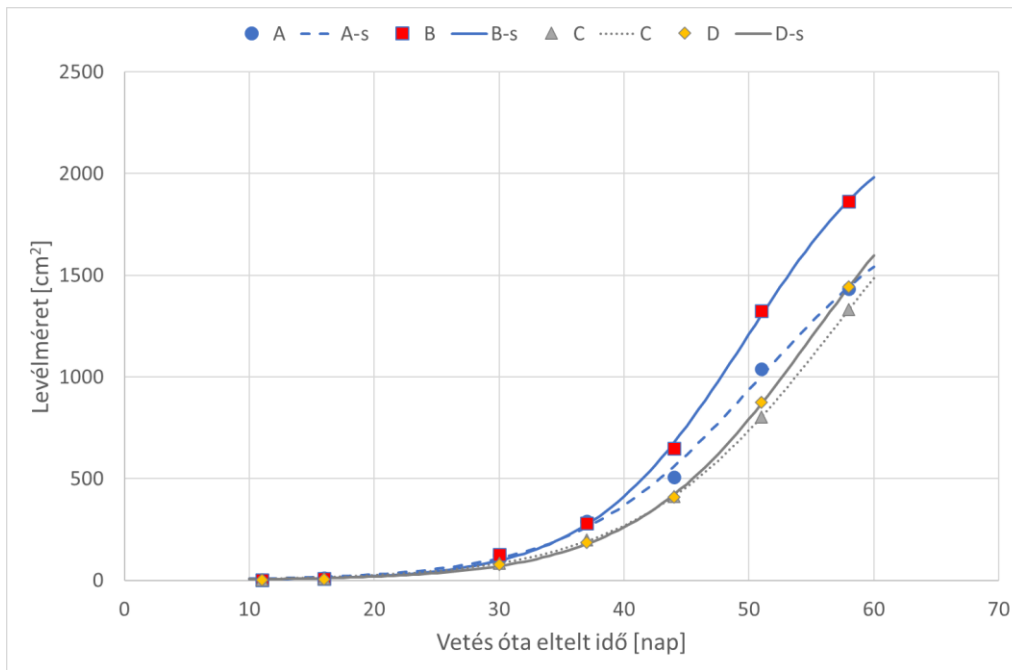
Alacsony intenzitáson a távoli vörös fény nem eredményezett szárazanyagtartalom-gyarapodást. A *Lollo Bionda* szempontjából beszélhetünk egy minimális növekedésről, de a *Lollo Rosso* vonatkozásában a tömegek gyakorlatilag megegyeznek. Ezen eredmények azt mutatják, hogy ilyen alacsony intenzitáson a távoli vörös fény nem funkcionál serkentő tényezőként a szárazanyagtartalom szempontjából.



12. ábra: A száraz tömegek aránya a zöld tömeghez viszonyítva, dobozdiagramon ábrázolva (Forrás: saját munka)

4.5. A levélfelület nagysága

Magas intenzitás mellett a távoli vörös fény számottevően növelte a levélfelületet. Láthatjuk, hogy a 30. naptól kezdve a „B” polcon elhelyezkedő tépősaláták levelei voltak a legnagyobbak és ez a különbség a betakarítás napjáig még nagyobb lett. Alacsony intenzitáson is gyarapító hatással volt a távoli vörös fény, olyannyira, hogy a betakarítás időpontjában a „D” polc növényeinek levélfelülete még a magas intenzitású „A” megvilágítás eredményeit is elérte. A levélfelület növekedését ábrázoló szigmoid görbét a 13. ábrán vehetjük szemügyre.



13. ábra: A levélfelület növekedésének ábrázolása szigmoid görbén, a vetés óta eltelt idő függvényében
(Forrás: saját munka)

4.6. Klorofilltartalom

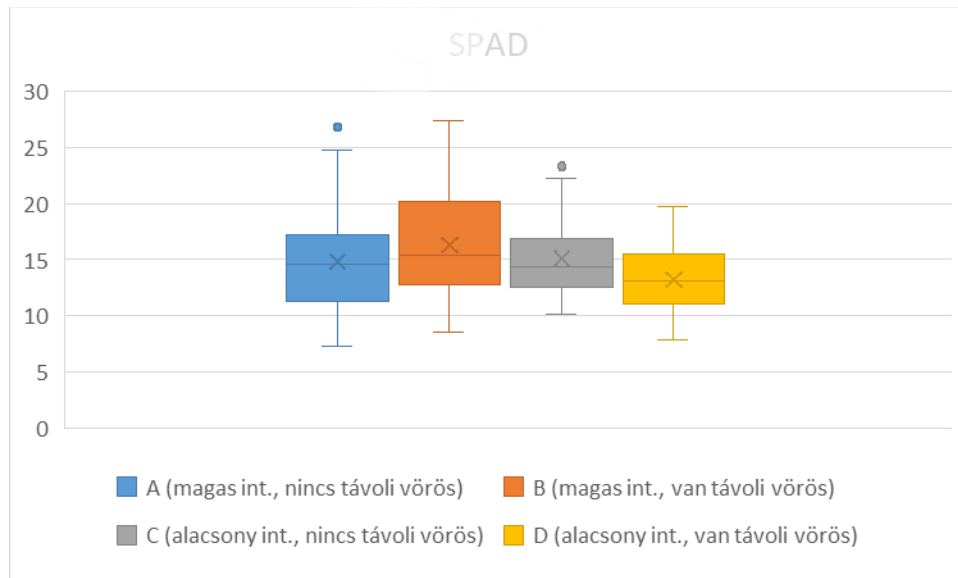
A SPAD mérőműszer segítségével megállapított eredmények alapján elvégzett kéttényezős varianciaanalízis (6. táblázat) kimutatta, hogy a fajtatípusok között nem volt szignifikáns különbség, viszont a megvilágítások számottevő hatást gyakoroltak a levelek klorofilltartalmára.

6. táblázat: A saláták klorofilltartalmai alapján elvégzett kéttényezős varianciaanalízis
(Forrás: saját munka)

Tényezők	SS	df	MS	F	p-érték	F krit.
Fajtatípusok	0,0375	1	0,0375	0,0024	0,96095	3,88185
Megvilágítások	290,97	3	96,9901	6,214	0,00045	2,64351
Kölcsönhatás	38,3975	3	12,7992	0,82002	0,48396	2,64351
Belül	3621,13	232	15,6083			
Összesen	3950,53	239				

A távoli vörös fény jelenléte a klorofilltartalom szempontjából is akkor bizonyult serkentő tényezőnek, amikor a besugárzás intenzitása magas volt. A dobozdiagramot megvizsgálva (14. ábra) az állapítható meg, hogy a magas és az alacsony intenzitású csak fehér fényt sugárzó LED-ek hasonló értékeket produkáltak, míg az alacsony intenzitású, távoli vörös fényt tartalmazó „D” polc növényeinek klorofilltartalma a szóban forgó mennyiségektől is

elmaradt. Ebből arra lehet következtetni, hogy ezen intenzitás mellett a távoli vörös besugárzás hatására a tépősaláták leveleinek klorofill-koncentrációja nem gyarapszik.



14. ábra: A SPAD mérések alapján elkészített dobozdiagram
(Forrás: saját munka)

5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A kísérletem eredményei alapján az vált megállapíthatóvá, hogy mind a *Lollo Rosso*, mind a *Lollo Bionda* tépősaláták esetében alacsony intenzitáson nem, míg magas intenzitás mellett a távoli vörös fény jelenléte számottevően befolyásolta az állomány fejlődését.

A gyökerek hosszúságát vizsgálva azt tudtam elmondani, hogy a távoli vörös fény nem fejtett ki szignifikáns hatást, főleg a *Lollo Bionda* tépősalátákra nézve. Vertikális megnyúlásukat nézve viszont más volt a helyzet, ugyanis a távoli vörös fényt befogadó tépősaláták észrevehetően magasabbra növekedtek, mint a csak fehér megvilágítás alatt elhelyezkedőek. Ez igazolja Franklin (2008) kijelentését, miszerint az árnyékot nem kedvelő növények a vörös/távoli vörös fény arányának változásából képesek érzékelni, hogy árnyékban vannak és ilyenkor jobban megnyúlnak, ezzel fokozva fénygyűjtő képességüket.

A zöld tömegekre a magas intenzitású és átlagosan $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os távoli vörös fényt tartalmazó megvilágítás hatott stimulálóan, mindkét fajtatípusra nézve. Az alacsony intenzitás és az átlagosan $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os távoli vörös besugárzás a *Lollo Rosso*-nál minimálisan, míg a *Bionda*-nál egyáltalán nem növelte a biomasszát. Ezen eredmények egybevágóak Carotti és munkatársai (2024) kijelentésével, miszerint a $30 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os távoli vörös besugárzás a saláta biomasszáját 49%-kal növeli, miközben a $10 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os jelenlét nem gyarapítja számottevően azt.

Legendre és van Iersel (2021) szerint a kiegészítő távoli vörös megvilágítás növeli a saláták leveleinek hosszát és szélességét, ezáltal a vetített lombkorona méretét. Ennek következtében a növények több fényt tudnak befogni, aminek hatására a szárazanyagtartalmat is nagyobb arányban képesek felhalmozni.

Kísérletem során az bizonyosodott be, hogy a távoli vörös fény magas és alacsony intenzitás esetén is jelentősen fokozta az állomány levélfelületének nagyságát. Ugyanakkor a szárazanyagtartalmat tekintve csak a magas intenzitáson üzemelő „B” összetétel esetén okozott szignifikáns különbséget a távoli vörös fény jelenléte. A vele azonos intenzitáson sugárzó „A” megvilágításhoz viszonyítva 11,43%-os növekedésről beszélhetünk, míg a „C” és „D” viszonylatában csupán 1,55%-kal növekedett a szárazanyagtartalom a távoli vörös fény hatására.

Ugyanezen megállapításra jutottam a klorofilltartalom szempontjából, ahol csak magas intenzitás mellett viselkedett serkentő tényezőként a kiegészítő távoli vörös megvilágítás. Alacsony intenzitáson még csökkent is a saláták klorofilltartalma a csak fehér megvilágítású LED-összetételekhez viszonyítva.

Összegezve, a kísérletem eredményei alapján az jelenthető ki, hogy az átlagosan $82 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os PPFD-t és $12 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os távoli vörös besugárzást tartalmazó fényrecept mellett érdemben nem lettek magasabbak a saláták fontosabb tényezői, mint a zöld tömeg, a szárazanyag-, és a klorofilltartalom. Ezt a fényreceptet a gyakorlatban nem érdemes alkalmazni vertikális hajtás során, mivel nem képes olyan hozam produkálására, amiből egy termesztő profitálhat.

Ugyanakkor a $120 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os fotoszintetikus fotonbesugárzáshoz adott $16 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ -os átlaggal rendelkező kiegészítő távoli vörös LED-megvilágítási összetétel szignifikáns gyarapodást eredményezett az állományban. Ez igazolta több, a szakdolgozatban megemlített szakirodalom állítását.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az emberiség egyik legnagyobb kihívásának ígérkezik az elkövetkező évtizedekben eddig sosem látott népességnövekedés és a jó minőségű termőföldek csökkenése okozta éhezés kezelése. A hagyományos termesztés nem fogja tudni biztosítani az élelmezésbiztonságot minden, a Földön élő ember számára, ezért új megoldásokat lesz szükséges alkalmazni.

A vertikális termesztés egy járható út lehet ezen probléma orvoslása során. Számos előnyét kihasználva nagyobb mennyiségben lehet jó minőségű élelmiszert előállítani egész évben. Azonban magas termelési költsége, melynek jelentős hányadát a világításra fordított energia ára teszi ki, egyelőre hátráltatja népszerűségének növekedését. Megfelelően összeállított LED-es megvilágítási rendszer alkalmazásával egy vertikális termesztő számottevően tudja mérsékelni kiadásait.

A kísérletem során azzal a kérdéskörrel foglalkoztam, hogy változó fényintenzitások mellett a kiegészítő távoli vörös LED-es megvilágítás milyen hatást fejt ki a *Lollo Rosso* és *Lollo Bionda* tépősaláták hozamára, klorofilltartalmára, gyökérhosszára, magasságára. Ehhez két különböző értékű fotoszintetikus fotonbesugárzású, valamint két spektrális összetételű megvilágítást alkalmaztunk.

Az eredmények alapján azt lehet megállapítani, hogy a fejlesztett gyökerek hosszára nem volt számottevő hatása a távoli vörös fénynek, ellenben a magassággal, ahol szignifikáns különbséget eredményeztek az eltérő fényreceptek és a távoli vörös besugárzás alatt fejlődő saláták jobban megnyúltak.

Magas intenzitású fény esetén a távoli vörös besugárzás erőteljes zöld tömeggyarapodást idézett elő mind a két fajtatípusra nézve. A *Lollo Bionda* tépősaláták 23,73%-kal, míg a *Lollo Rosso*-k 15,17%-kal hoztak létre több biomasszát, mint a csak fehér megvilágítás alatt hajatottak. Alacsony intenzitáson ugyanakkor nem számított serkentő tényezőnek. A *Rosso* fajtatípusnak 1,58%-kal gyarapította csupán a zöld tömegét, míg a *Bionda*-nál 1,44%-os visszaesést okozott a távoli vörös megvilágítás.

A felhalmozott szárazanyagtartalomról ugyanezt mutatták ki az eredmények. Magas intenzitás mellett a tépősaláták szignifikánsan több szárazanyagot hoztak létre a zöld tömeghez viszonyítva távoli vörös fény jelenléte mellett. Viszont az alacsonyabb intenzitású megvilágítások eredményei arra mutattak rá, hogy gyakorlatilag nem okozott szárazanyagtartalom-gyarapodást. A klorofilltartalom szempontjából szintén csak a magasabb intenzitású besugárzás esetén volt szó növekedésről a távoli vörös fény hatását szemlélve.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretném megköszönni konzulensemnek, Dr. Balázs Lászlónak a kísérlet megtervezésében, kivitelezésében és a szakdolgozat megírása során nyújtott felbecsülhetetlen értékű segítségét és útmutatását. Továbbá szeretném köszönetemet kifejezni a szüleimnek, akik lehetővé tették a tanulmányaim folytatását, valamint mindenkinek, aki segített bármilyen módon az egyetemen eltöltött időm során.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- Bae, J. H., Park, S.Y., Oh, M.M. (2017): Supplemental irradiation with far-red light-emitting diodes improves growth and phenolic contents in *Crepidiastrum denticulatum* in a plant factory with artificial lighting. *Hortic. Environ. Biotechnol.* 58, 357–366 o.
- Boros, I. F., Székely, G., Balázs, L., Csambalik, L., Sipos, L. (2023): Effects of LED lighting environments on lettuce (*Lactuca sativa* L.) in PFAL systems – A review. *Scientia Horticulturae*, Volume 321, 112351.
- Bourget, C.M. (2008): An introduction to light-emitting diodes. *HortScience*, 43, 1944–1946.
- Budavári, N., Pék, Z., Helyes, L., Takács, S., & Nemeskéri, E. (2024). An Overview on the Use of Artificial Lighting for Sustainable Lettuce and Microgreens Production in an Indoor Vertical Farming System. *Horticulturae*, 10(9), 938.
- Bula R. J., Morrow R. C., Tibbitts T.W., Barta D. J., Ignatius R. W., Martin T. S. (1991) Light-emitting diodes as a radiation source for plants. *Hortscience: a Publication of the American Society for Horticultural Science*. 203-205. o. PMID: 11537727.
- Carotti, L., Pistillo, A., Zauli, I., Pennisi, G., Martin, M., Gianquinto, G., Orsini, F. (2024): Far-red radiation management for lettuce growth: Physiological and morphological features leading to energy optimization in vertical farming. *Scientia Horticulturae*, Volume 334, 113264.
- Erdei L. (2004): *Növényélettan: Növekedés- és fejlődéstan*. Szeged: Jate Press kiadó. 43-72. o.
- Franklin K. A. (2008): Shade avoidance. *New Phytologist*, Volume 179, Issue 4, 930-944. o.
- Gerke, Brian, F., Allison, T. Ngo, Kibret S., Fisseha (2015): Recent price trends and learning curves for household LED lamps from a regression analysis of Internet retail data. Lawrence Berkeley National Laboratory, Energy Analysis & Environmental Impacts Division
- Jin, W., Urbina, J., L., Heuvelink, E., Marcelis, L., F., M. (2021): Adding Far-Red to Red-Blue Light-Emitting Diode Light Promotes Yield of Lettuce at Different Planting Densities. *Frontiers in Plant Science*, Volume 11:609977.
- Kitazaki, K., Fukushima, A., Nakabayashi, R., Okazaki, Y., Kobayashi, M., Mori, T., Nishizawa, T., Reyes-Chin-Wo, S., Michelmore, R., W., Saito, K., Shoji, K., Kusano, M. (2018): Metabolic Reprogramming in Leaf Lettuce Grown Under Different Light Quality and Intensity Conditions Using Narrow-Band LEDs. *Scientific Reports*, 8, 7914.
- Legendre, R., W. van Iersel, M. (2021): Supplemental Far-Red Light Stimulates Lettuce Growth: Disentangling Morphological and Physiological Effects. *Plants*, 10, 166.

Li, L., Tong, Y., Lu, J., Li, Y., Yang, Q. (2020). Lettuce Growth, Nutritional Quality, and Energy Use Efficiency as Affected by Red–Blue Light Combined with Different Monochromatic Wavelengths. *HortScience horts*, 55(5), 613-620.

Meng, L., Song, J., Ni, D., Kamaruddin M. A. (2024): Effects of far-red light on growth, endogenous hormones, antioxidant capacity and quality of Lettuce. *Food Production, Process and Nutrition*, 6, 25.

Mengdi D., Xiangfeng T., Ziran Y., Jianjie R., Xuting C., Dedong K. (2024): Optimal Light Intensity for Lettuce Growth, Quality, and Photosynthesis in Plant Factories. *Plants* 2024, 13(18), 2616.

Okon, T. M.; Biard, J. R. (2015): *The First Practical LED*

Paradiso, R.; Proietti, S. (2022): Light-Quality Manipulation to Control Plant Growth and Photomorphogenesis in Greenhouse Horticulture: The State of the Art and the Opportunities of Modern LED Systems. *Journal of Plant Growth Regulation*, 41, 742–780.

Pethő M. (1998): *A növényélettan alapjai*. Budapest: Akadémiai kiadó. 19-34., 90-91. o.

Pinho P, Jokinen K, Halonen L. (2016): The influence of the LED light spectrum on the growth and nutrient uptake of hydroponically grown lettuce. *Lighting Research & Technology*. 49(7):866-881.

Shoji, K., Moriya, H., Goto, F. (2013): Surveillance study of the support method to the plant factory by electric power industry: Development trend of plant factory technology in Japan. *Environment Science Research Laboratory Report No. 13002*. Central Research Institute of Electric Power Industry, Tokyo, 1-16. o.

Sutulienė, R., Laužikė, K., Pukas, T., Samuolienė, G. (2022): Effect of Light Intensity on the Growth and Antioxidant Activity of Sweet Basil and Lettuce. *Plants* 2022, 11(13), 1709

Terbe I. (2000): *Levélzöldsfélék*. Budapest: Dinasztia Kiadó. 71-79. o.

Toyoki K.; Genhua N., Michigo T. (2020): *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production*; 3-5; 140-146. o.

Ya-ting ZHANG, Yu-qi ZHANG, Qi-chang YANG, LI T. (2019): Overhead supplemental far-red light stimulates tomato growth under intra-canopy lighting with LEDs. *Journal of Integrative Agriculture*, Volume 18, Issue 1, 62-69. o.,

http1: Population – United Nations. <https://www.un.org/en/global-issues/population> (2025. október)

http2: LED Farming Market Size & Share Analysis - Growth Trends & Forecasts (2025-2030). <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/led-farming-market> (2025. május)

9. ÁBRÁK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. ábra: A kísérlet helyszíne, a MATE NTTI gödöllői telephelyén található konténerek. Az én kísérletem a bal szélső konténerben zajlott. <i>(Forrás: saját fénykép)</i>	15
2. ábra: A saláták, a csepegtető tűk és az edények elhelyezkedése <i>(Forrás: saját fénykép)</i>	16
3. ábra: A kísérlet felépítéséről készített tervrajz <i>(Forrás: saját munka)</i>	18
4. ábra: A betakarítás után készített fénykép a levélfelület meghatározásához (balra); ugyanezen fénykép a megfelelő fény- és színskála beállítása után, bináris formátumban (jobbra) <i>(Forrás: saját fénykép, illetve saját munka)</i>	19
5. ábra: A megvilágítás spektrális összetételéről készült grafikonok. A bal oldalon a fehér fényű összeállítás, a jobb oldalon a távoli vörös kiegészítő megvilágítást is tartalmazó összetétel látható <i>(Forrás: saját munka)</i>	21
6. ábra: Az egyes LED megvilágítások fotoszintetikus fotonbesugárzásáról készített dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	22
7. ábra: A megvilágítási összetételek távoli vörös fotonbesugárzását ábrázoló dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	23
8. ábra: A kísérlet során hajtatott tépősaláták által létrehozott gyökerek hosszait ábrázoló dobozdiagram, fajtátípusokra és fényreceptekre bontva <i>(Forrás: saját munka)</i>	25
9. ábra: A saláták október 11-én mért magasságai alapján elkészített dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	26
10. ábra: A saláták október 16-án mért magasságai alapján elkészített dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	27
11. ábra: A tépősaláták zöld tömegeiről készített dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	28
12. ábra: A száraz tömegek aránya a zöld tömeghez viszonyítva, dobozdiagramon ábrázolva <i>(Forrás: saját munka)</i>	30
13. ábra: A levélfelület növekedésének ábrázolása szigmoid görbén, a vetés óta eltelt idő függvényében <i>(Forrás: saját munka)</i>	31
14. ábra: A SPAD mérések alapján elkészített dobozdiagram <i>(Forrás: saját munka)</i>	32
1. táblázat: A gyökerek hosszáról készült mérések alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis <i>(Forrás: saját munka)</i>	24
2. táblázat: A saláták október 11-én mért magasságai alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis <i>(Forrás: saját munka)</i>	26

3. táblázat: Az október 16-ai magasságok alapján elkészített kéttényezős varianciaanalízis (<i>Forrás: saját munka</i>).....	27
4. táblázat: A saláták zöld tömegeiről elkészített kéttényezős varianciaanalízis (<i>Forrás: saját munka</i>).....	28
5. táblázat: A teljes állomány zöldtömege polconként, valamint a távoli vörös fény jelenlétének hatása a biomasszára azonos intenzitások mellett (<i>Forrás: saját munka</i>)	29
6. táblázat: A saláták klorofilltartalmai alapján elvégzett kéttényezős varianciaanalízis (<i>Forrás: saját munka</i>).....	31

10. NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

a szakdolgozat nyilvános hozzáféréseiről és
eredetiségéről

A hallgató neve: ÖRI ANDRÁS ISTVÁN
A Hallgató Neptun kódja: DPGCR1
A dolgozat címe: A FÉNY INTENZITÁSÁNAK ÉS SPEKTRÁLIS ÖSSZETÉTELEMEK HATÁSA A SALÁTA NÖVEKEDÉSÉRE
A megjelenés éve: 2025
A konzulens intézetének neve: NÖVÉNYTERMESZTÉSI-TUDOMÁNYOK INTÉZET
A konzulens tanszékének a neve: AGRONÓMIA 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. Továbbá kijelentem, hogy a dolgozat elkészítése során alkalmazott mesterséges intelligencia-eszközök (pl. szövegenerálás, nyelvi javítás, fordítás, adatelemzés) használata nem helyettesítette a saját kutatási és alkotói munkámat, azok alkalmazását a források között vagy a módszertani részben feltüntettem, és a szakmai-etikai elvárásoknak megfelelően jártam el.

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 mindenkor szellemi tulajdon-kezelési szabályzatában megfogalmazottak érvényesek.

Tudomásul veszem, hogy dolgozatom elektronikus változata feltöltésre kerül a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem könyvtári repozitóri rendszerébe. 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 könyvtári repozitóri rendszerében.

Kelt: 2025 év OKTÓBER hó 27 nap

Öri András István
Hallgató aláírása

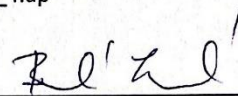
NYILATKOZAT

"ÖRI ANDRÁS ISTVÁN (név) (hallgató Neptun azonosítója: DP6CQ1)
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: 2025 év OKTÓBER hó 27 nap


belső konzulens

Hallgatók, doktoranduszok nyilatkozata mesterséges intelligencia (MI) alkalmazásáról

1. Általános adatok

Hallgató neve:	ŐRI ANDRÁS ISTVÁN
Neptun-kódja:	DPGLQ1
Képzési szint (a megfelelőt jelölje X-szel):	<input checked="" type="checkbox"/> BSc/BA <input type="checkbox"/> MSc/MA <input type="checkbox"/> Doktori (PhD) <input type="checkbox"/> Egyéb:
Tantárgy neve/kódja*:	SZAKDOLGOZAT KÉSZÍTÉS
A munka címe:	AFÉNY INTENZITÁSÁNAK ÉS SPEKTRÁLIS ÖSSZETÉLEK HATÁSA A SALÁTA NÖVEKEDÉSRE

* doktori értekezés esetén nem kitöltendő

2. Nyilatkozat az MI használatáról

Alulírott, etikai felelősségem teljes tudatában az alábbi nyilatkozatot teszem:

(Kérjük, válasszon egyet az alábbi lehetőségek közül!)

- A) Nem alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Amennyiben ezt jelölte, a további táblázatok kitöltése nem szükséges.)
- B) Alkalmaztam mesterséges intelligencia rendszert vagy szolgáltatást.
(Kérjük, töltsse ki a vonatkozó táblázatokat!)

3. A mesterséges intelligencia használatának részletezése

I. TÁBLÁZAT: Asszisztensi vagy kisebb mértékű felhasználás (pl. fordítás, nyelvi korrektúra, ötletelés stb.)

(Ezen felhasználások esetében a konkrét promptok és válaszok csatolása nem szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve és verziója	Érintett rész (ha nem a szöveg egészére vonatkozik)
FORDÍTÁS, SZINONIMÁK KERESÉSE NYELVI KORREKTÚRA	CHAT GPT 4,5	BEVEZETÉS SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉS - FORDÍTÁS EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSEK - SZINONIMÁK

II. TÁBLÁZAT: Jelentős tartalmi hozzájárulás (pl. egy teljes ábra vagy egy hosszabb szövegrész generálása)

(Ezekben az esetekben a felhasznált kulcsfontosságú promptok és az MI által adott nyers válaszok dokumentálása és a munka mellékletében való csatolása szükséges.)

A felhasználás célja	Alkalmazott MI-eszköz neve, verziója, elérhetősége	Az érintett fejezet / ábra / táblázat pontos sorszáma	A prompt-naplót tartalmazó melléklet bejegyzésének sorszáma

--	--	--	--

3/A. Oktató által előírt kiegészítő szabályok (ha vannak)

Amennyiben az adott tantárgy oktatója vagy témavezetője az MI-eszközök használatára vonatkozóan külön szabályokat vagy elvárásokat határozott meg, kérjük, az alábbi mezőben foglalja össze ezeket:

Pl. az MI használatának tilalma bizonyos feladattípusokra; csak konkrét eszköz használata engedélyezett; eltérő hivatkozási elvárások; dokumentációs forma stb.

Oktató vagy témavezető által előírt szabályok:

.....

.....

.....

.....

4. Minden hallgatóra vonatkozó nyilatkozat:

Kijelentem, hogy az MI által esetlegesen generált tartalmakat minden esetben kritikailag felülvizsgáltam, szerkesztettem és a munkába illesztettem. A leadott munka minden eleméért, annak eredetiségéért és tudományos helytállóságáért teljes körű felelősséget vállalok. Tudomásul veszem, hogy a Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem a benyújtott munkát mesterséges intelligencia detektorral ellenőrizheti, és eljárást kezdeményezhet, amennyiben a nyilatkozatom valótlan vagy hiányos.

Kelt: GÖDÖLLŐ....., 2025. október hó 27... nap

Ortutyan István

Hallgató aláírása

Berzei

Konzulens/Témavezető aláírása